REVISTA
ESPAMCIENCIA
para el agro

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

ISSN-e: 1390-8103

VOLUMEN
13
N°1
ENERO-JULIO 2022

humanidades EDITORIAL

latindex BASE REDIB Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico DOAJ MIAR Matriz de Información para el Análisis de Revistas PERIÓDICA Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias OAJI .net Dialnet

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

¿LA PLENA EXPOSICIÓN SOLAR PODRÍA REPRESENTAR VENTAJAS FISIOLÓGICAS PARA EL CULTIVO DE CACAO CRIOLLO?

COULD FULL SUN EXPOSURE REPRESENT PHYSIOLOGICAL ADVANTAGES FOR CRIOLLO COCOA CULTIVATION?

Tezara Wilmer[1,4], Héctor Alexander Blanco-Flores[1], Pedro Pablo Gómez-Vera[1], Fabiola María Ríos Bolivar[1], Jenny Cristina De Almeida Dos santos[1,2], Freddy Antonio Fischer Castilla[3], Víctor Hugo Reynel Chila[4]

[1]Centro de Botánica Tropical, Instituto de Biología Experimental, Universidad Central de Venezuela, Apartado 47114, Caracas 1041-A, Venezuela.
[2] Centro Nacional de Tecnología Química (CNTQ), Complejo tecnológico Simón Rodríguez, Base aérea Generalísimo Francisco de Miranda, La Carlota, Caracas, Venezuela
[3]Finca "Las Bromelias" Ocumare de la costa, Estado Aragua, Venezuela.
[4] Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Estación Experimental Mutile, Esmeraldas, Ecuador.

Email: wilmer.tezara@ciens.ucv.ve

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
24/03/2022

Aceptado:
27/06/2022

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
13(1):1-11

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i1.299

Resumen

En Venezuela se desconoce el desempeño fisiológico de los árboles adultos de cacao a plena exposición solar. Se evaluó el efecto a largo plazo de una alta densidad de flujo fotónico (DFF) sobre el potencial hídrico foliar (Ψ), índice de área foliar (IAF), intercambio gaseoso, actividad fotoquímica del fotosistema II (PSII) y, contenido de pigmentos fotosintéticos en árboles adultos de cacao Ocumare 61 (OC-61), con el objetivo de conocer si el clon OC-61 tiene un buen desempeño fotosintético en plantas cultivadas a plena exposición solar (E) o si por el contario existe una desventaja fisiológica en comparación con las cultivadas en sombra (S); también se evaluaron hojas autosombreadas en cada condición (E+A y S+A). El clon OC-61 cultivado en E, mostró cambios significativos en algunos rasgos fisiológicos: menor Ψ, menor IAF, mayores tasas de fotosíntesis (A) y eficiencia de uso de agua (EUA), menor concentración intercelular de CO_2 (C_i) y un menor contenido de clorofilas totales y de carotenoides. Se encontró una mayor tasa de transporte de electrones, eficiencia cuántica del PSII, coeficiente de extinción fotoquímica y no fotoquímica que explicarían parcialmente las mayores A en E; no hubo una disminución en la eficiencia cuántica máxima indicando la ausencia de fotoinhibición. El clon OC-61 es un cultivo tolerante a la sombra; sin embargo, los resultados indican que puede aclimatarse a una alta exposición solar, sin que ocurran daños al funcionamiento del PSII, lo que podría representar una ventaja fisiológica para el clon OC-61 cultivado en el área de estudio.

Palabras clave: fotoquímica, fluorescencia, fotosíntesis, sombra, exposición solar, cacao

Abstract

In Venezuela, the physiological performance of adult cocoa trees under full sun exposure is unknown. The long-term effect of high photon flux density (PFD) on leaf water potential (Ψ), leaf area index (LAI), gas exchange, photochemical activity of PSII, and photosynthetic pigment content in adult cocoa trees of Ocumare 61 (OC-61) was evaluated, in order to know if OC-61 could have a good photosynthetic performance in plants grown in full sun (E) or if on the contrary there is a physiological disadvantage compared to those grown in shade (S), self-shaded leaves were also evaluated in each condition (E+A and S+A). The OC-61 clone grown in E showed significant changes in some physiological traits: lower Ψ, lower IAF, higher rates of photosynthesis (A) and water use efficiency (WUE), lower intercellular CO_2 concentration (C_i) and lower total chlorophyll, and carotenoid content. An increase in electron transport rate, PSII quantum efficiency, photochemical and non-photochemical extinction coefficient was found that would partially explain the higher A's in E; there was no decrease in maximum quantum efficiency indicating the absence of photoinhibition. Clone OC-61 is a shade tolerant crop; however, the results indicate that it can be acclimatized to high sun exposure without damage to PSII functioning, which could represent a physiological advantage for clone OC-61 grown in the study area.

Keywords: photochemistry, fluorescence, photosynthesis, shade, sun exposure, cocoa.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol tropical perteneciente a la familia Malvaceae, que presenta una distribución nativa que abarca los bosques lluviosos de la cuenca amazónica y otras áreas tropicales de Centro y Sur América (Zhang *et al*., 2009; Dostert *et al*., 2011).

Generalmente, el cacao se desarrolla bajo la sombra proporcionada por sistemas agroforestales (Baligar *et al*., 2008), adaptación adquirida por su crecimiento en los sotobosques en las aéreas de distribución nativas (Martins *et al*., 2014). En el establecimiento de un cultivo de cacao criollo, se requiere inicialmente de la sombra temporal para garantizar la supervivencia y desarrollo de las plántulas, ya que a una baja densidad de flujo fotónico (DFF) reduce el déficit hídrico y de nutrientes que se genera a plena exposición solar (De Almeida *et al*., 2018).

Cuando el cultivo de cacao crece bajo la sombra de otros árboles, generalmente se recomienda que la DFF que llega al dosel del cacao sea 60% de la luz solar total; sin embargo, hasta el momento no se ha llegado a un acuerdo universal (Jaimez *et al*., 2008). Se ha propuesto que el cacao no presenta la capacidad de adaptarse a altas DFF, ya que presenta rasgos fisiológicos típicos de especies umbrófilas (De Almeida *et al*., 2018). Sin embargo, se ha reportado que el cacao se desarrolla con éxito a plena exposición solar en Ecuador (Jaimez *et al*., 2018; Tezara Fernández *et al*., 2020), Brasil, Ghana y Costa de Marfil (Herzog, 1994).

Las condiciones climáticas en la costa de Ecuador, donde la mayor parte del año hay alta densidad de nubes y baja demanda evaporativa, favorece la posibilidad de cultivar cacao a plena exposición solar (Jaimez *et al*., 2018, 2021). Por el contrario, en plántulas de cacao criollo, en Venezuela cultivadas a alta DFF se reportó una desventaja fisiológica, que se tradujo en una menor tasa de crecimiento relativa; y en campo, en árboles adultos la alta exposición solar causó una reducción significativa de la eficiencia cuántica máxima del PSII (F_v/F_m) que ocasionó fotoinhibición crónica (De Almeida *et al*., 2018), similar a lo encontrado previamente en cacao forastero (Galyuon *et al*., 1996).

Se han estudiado diferentes parámetros fisiológicos: tasa neta de fotosíntesis (A), conductancia estomática (g_s), eficiencia de uso de agua (EUA) y actividad fotoquímica del PSII, en clones de cacao ecuatorianos (Jaimez *et al*., 2022; Tezara-Fernández *et al*., 2020) y cacao criollo cultivados a plena exposición solar (De Almeida *et al*., 2018), encontrándose un aumento en A en respuesta a altas DFF, en cacaos ecuatorianos. En clones de cacao cultivados a plena exposición solar en Esmeraldas, se redujo significativamente el área foliar específica y la F_v/F_m, mostrando cambios morfoanatómicos y regulación descendente del aparato fotoquímico, lo que sugirió la aclimatación de cacaos ecuatorianos a diferentes condiciones lumínicas (Tezara *et al*., 2015).

Tanto el exceso de sombra, como el exceso de luz pueden afectar el rendimiento del cultivo (Valladares & Niinemets, 2008). Sin embargo, las plantas han demostrado la capacidad de ajustar su morfología y fisiología en respuesta a las condiciones ambientales por plasticidad fenotípica (Matos *et al*., 2009). Estos cambios podrían observarse en algunos parámetros fisiológicos: A, g_s, F_v/F_m, potencial hídrico (Ψ), concentración de pigmentos fotosintéticos, entre otros (De Almeida *et al*., 2018).

En la actualidad, a pesar de conocerse el éxito del establecimiento de plantaciones de cacao en plena exposición solar (Jaimez *et al*., 2021), en Venezuela se desconoce el desempeño fisiológico de los árboles adultos de cacao a plena exposición solar.

Se evaluó el desempeño fisiológico (Ψ, intercambio gaseoso, índice de área foliar (IAF), eficiencia fotoquímica y contenido de pigmentos fotosintéticos) de árboles adultos del clon OC-61 en condiciones de campo, con el objetivo de conocer si el clon OC-61 podría tener un buen desempeño fotosintético en plantas cultivadas a plena exposición solar (E) o si por el contario existe una desventaja fisiológica en comparación con plantas cultivadas en condiciones de sombra (S); y probar la hipótesis de si el clon OC-61 muestra una alta variación en la respuesta fotosintética a diferentes condiciones lumínicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y diseño experimental

El estudio se realizó en la finca "Las Bromelias" ubicada en las costas del Estado Aragua, Venezuela (10°25'10.3"N y 67°46'48.2"W), área caracterizada por un régimen estacional monomodal: temporada de sequía (noviembre-abril) y lluvia (mayo-noviembre). Se evaluaron árboles adultos (14 años de edad) del clon de cacao, OC-61 clasificado como un cacao Criollo Moderno, es decir, Trinitario (híbrido entre el cacao Criollo y Forastero) de la selección del año 1945 (Motamayor *et al*., 2002). El OC-61 se caracteriza por una alta productividad y excelentes características sensoriales. La producción promedio del OC-61 reportada por el productor de la finca fue de 2500 a 4500 Kg ha^{-1}.

Se evaluaron dos parcelas que presentaron un buen manejo agronómico, con fertilización orgánica, con suficiente riego, control de plagas, y enfermedades. En cada parcela los árboles de cacao están sembrados a una distancia de 3 x 3 m a una densidad de 1111 plantas por hectárea. En una de las parcelas los árboles se encontraban bajo la sombra

(S) de unos árboles de Samán (*Samanea Saman*) entre las 10:00 am y 14:00 pm (máxima sombra), mientras que la otra los árboles se encontraban expuestos a plena exposición solar (E).

La unidad experimental estuvo constituida por dos parcelas: una con 290 árboles que se encontraban en S y la otra con 700 árboles en E. Las mediciones microclimáticas y fisiológicas se realizaron en hojas ubicadas en el dosel de árboles de cacao ubicados en la región central de cada unidad experimental en ambas condiciones S y E; además, se midieron hojas auto-sombreadas ubicadas dentro del dosel de los árboles de cacao en cada condición lumínica, es decir, sombra (S+A) y expuestas (E+A). En total hubo 4 tratamientos (A, E, S+A y E+A).

Condiciones microclimáticas

El microclima fue caracterizado en la región central de ambas parcelas, cerca de los árboles ubicados en cada condición (S y E). Se realizaron mediciones cada 30 minutos de la densidad de flujo fotónico (DFF), mediante el uso de un sensor cuántico (LICOR LI-250 A (Light Meter, USA), de la temperatura foliar (T_f), con sensores de temperatura (YSI 04B0618-409B; Switch Craft LN4153-405) y un termómetro termistor (8402-10, Cole-Parmer Instrument Company); y el porcentaje de humedad relativa del aire (HR) con un higrómetro (Abbeon, Modelo AB167B). Adicionalmente se registraron medidas continuas por un lapso de dos meses de temperatura del aire (T_a) y de HR mediante el uso de un HOBO Pro V2 (Onset Computer Corporation, MA USA).

Índice de área foliar

Se determinó el índice de área foliar (IAF) en árboles ubicados en las parcelas de los tratamientos S y E del clon OC-61, mediante el uso de un analizador de dosel de plantas (PAC) (LAI-2200 C, Li-COR, Lincoln, NE, USA), En cada parcela se midieron 5 árboles ubicados en el centro de cada parcela, con dosel homogéneo, para ello la vara del sensor del PCA, complementada con una tapa de 90° para bloquear el operador del equipo y la copa de los árboles cercanos, se colocó a 80 cm sobre el nivel del suelo en la zona media de los árboles y se tomaran medidas con el sensor afuera del dosel y debajo en la dirección de los 4 puntos cardinales (Norte, Sur, Este y Oeste).

Estado hídrico

Se determinó el potencial hídrico foliar (Ψ) matutino entre las 6:00 y 7:00 am, del clon OC-61 de cinco hojas adultas totalmente expandidas de diferentes árboles ubicados en cada condición (S, E, E+A y S+A) con una cámara de presión PMS 200 (PMS Instruments Inc., Corvallis, OR).

Intercambio de gases

Las mediciones de los parámetros de intercambio de gases: tasa neta de fotosíntesis (A, μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), tasa de transpiración (*Et*; mmol H_2O m^{-2} s^{-1}), conductancia estomática (g_s; mmol H_2O m^{-2} s^{-1}), concentración intercelular de CO_2 (C_i; μmol mol^{-1}) y eficiencia de uso de agua (EUA = A/*Et*; mmol CO_2 mol H_20^{-1}); se realizaron en hojas adultas totalmente expandidas de 5 diferentes árboles (n = 5) ubicadas en el dosel (S y E) y dentro del dosel autosombreadas (E+A y S+A), con un analizador infrarrojo de gases portátil modelo CIRAS 2 (Pp Systems, Hitchin, RU). Las condiciones de medidas fueron: concentración ambiental de CO_2 de 410 ± 5 μmol mol^{-1}, 21 % de O_2, 28 ± 1°C y una DFF saturante (1000 ± 20 μmol m^{-2} s^{-1}).

Actividad fotoquímica del fotosistema II (PSII)

Los parámetros de fluorescencia de la clorofila a del PSII se determinaron en hojas provenientes de 4 árboles diferentes (n = 4) en cada condición (S, E, S+A y E+A), siguiendo el protocolo de Genty *et al*., (1989), las hojas fueron adaptadas por 2 minutos a 3 diferentes DFF (100, 500 y 1000 μmol m^{-2} s^{-1}), utilizando un fluorímetro portátil (PAM 2100, WALZ, Alemania). Al amanecer se determinó la eficiencia cuántica máxima del PSII ($F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$) en 40 diferentes hojas en cada tratamiento (n = 40), mientras que en hojas adaptadas a las diferentes DFF se determinó: la eficiencia cuántica relativa del PSII: $\Phi_{PSII} = (F'_m - F)/F'_m$), el coeficiente de extinción fotoquímica: $q_P = (F'_m - F)/(F' - F'_o)$, el coeficiente de extinción no fotoquímica: $q_N = 1 - (F'_m - F'_o)/(F_m - F_o)$ y la tasa de transporte de electrones: ($J = \Phi_{PSII} \times DFF \times a \times f$) (Krall & Edwards, 1992), donde "a" es la fracción de DFF absorbida por la hoja (considerada como 0,84) y "f" es la proporción de fotones absorbidos por el PSII (0,5 ya que ambos fotosistemas están involucrados de igual manera en el transporte lineal de electrones; e^-).

Pigmentos fotosintéticos

Se determinó el contenido de las clorofilas a (Cl_a), b (Cl_b), clorofilas totales (Cl_{a+b}) y de carotenoides (C_{x+c}) en cinco hojas (n = 5) adultas totalmente expandidas en las que se evaluó previamente el intercambio gaseoso en cada tratamiento, según Bruinsma (1963) y Wellburn (1994). La extracción de pigmentos se realizó a partir de 3 discos por hoja de área conocida (1,54 cm^2) las cuales fueron maceradas en frío con $CaCO_3$ y fueron homogeneizadas en acetona 80 %. Se registró la densidad óptica de los extractos a cuatro longitudes de onda (λ; 470, 663, 652 y 645 nm) con un espectrofotómetro (Ultraspec Plus, Pharmacia LKB, UK). Las concentraciones se los diferentes pigmentos fotosintéticos se determinaron según las siguientes ecuaciones:

$Cl_a = 12.7\ A_{663} - 2.7\ A_{645}$
$Cl_b = 22.9\ A_{645}.- 4.7\ A_{663}$
$Cl_{a+b} = 27,8\ A_{652}$
$C_{(x+c)} = (1000\ A_{470} - 1.82\ Cl_a - 85.02\ Cl_b)/198$

Análisis estadístico

Todas las determinaciones fisiológicas se realizaron entre 4 y 5 plantas del clon OC-61 tomadas al azar en la región central de cada unidad experimental. Se utilizó Statistica versión 10.0 para realizar el ANOVA de una vía. La separación de medias se hizo con la prueba de Duncan a un nivel de significancia de $p<0,05$. Se utilizó el programa SigmaPlot 11,0 (Systat Software, Inc., San José, CA) para la elaboración de las gráficas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Microclima

Se observó que la mayor DFF fue alcanzada al mediodía (1900 ± 20 µmol m^{-2} s^{-1}) en la parcela E; mientras que la sombra de los samanes redujo en un 53 % de DFF que incide sobre la parcela S (900 ± 30 µmol m^{-2} s^{-1}). La reducción de la DFF fue de 41 ± 0,33 y 74 ± 0,09 % a las 10:00 y 13:00 respectivamente. Se encontraron las menores T_a y mayores HR en las primeras horas de la mañana en S. La HR fue relativamente alta a lo largo del día (~ 80 %) en ambas condiciones (S y E). La T_a estuvo comprendida entre 25-30 ± 0,5 °C (Figura 1). Las mayores T_f se observaron en el tratamiento E (33 ± 0,9 °C).

Las menores DFF, temperaturas, demanda evaporativa y mayor HR durante las primeras horas de la mañana en la condición de S, sugieren que efectivamente la sombra sirve como un amortiguador de las variables microclimáticas en el área del cultivo, reduciendo estrés que se genera a plena exposición solar (De Almeida *et al*., 2018). Es importante señalar que la alta HR y por tanto relativamente baja demanda evaporativa en las costas del Estado Aragua, en Venezuela favorece la posibilidad de cultivar cacao a plena exposición solar en esta región, similar a lo reportado en cultivos de cacao en el Ecuador (Jaimez *et al*., 2018, 2021).

Índice de área foliar

El IAF fue significativamente mayor en los arboles ubicados en S (3,38 ± 0,04 m^2 m^{-2}) que los encontrados en E (2,89 ± 0,16 m^2 m^{-2}). Las diferencias observadas en IAF en OC-61 posiblemente son debidas las condiciones DFF de crecimiento. En árboles de cacao productivos, los valores de IAF reportados son muy variados desde 1,5 hasta 6 m^2 m^{-2} en Ghana (Hutcheon, 1976); entre 3,7 y 5,7 m^2 m^{-2} en Brasil (Alvim, 1977) y entre 2,3 y 3,8 m^2 m^{-2}, en CCN51 y ICS 95, en Colombia (Leiva-Rojas *et al*., 2019).

Un aumento significativo en IAF del 14,5 % en los árboles cultivados en S en comparación con E, indica una mayor área foliar capaz de absorber la mayor cantidad de luz en un hábitat limitado por las baja DFF, sugiriendo una repuesta de aclimatación a baja DFF.

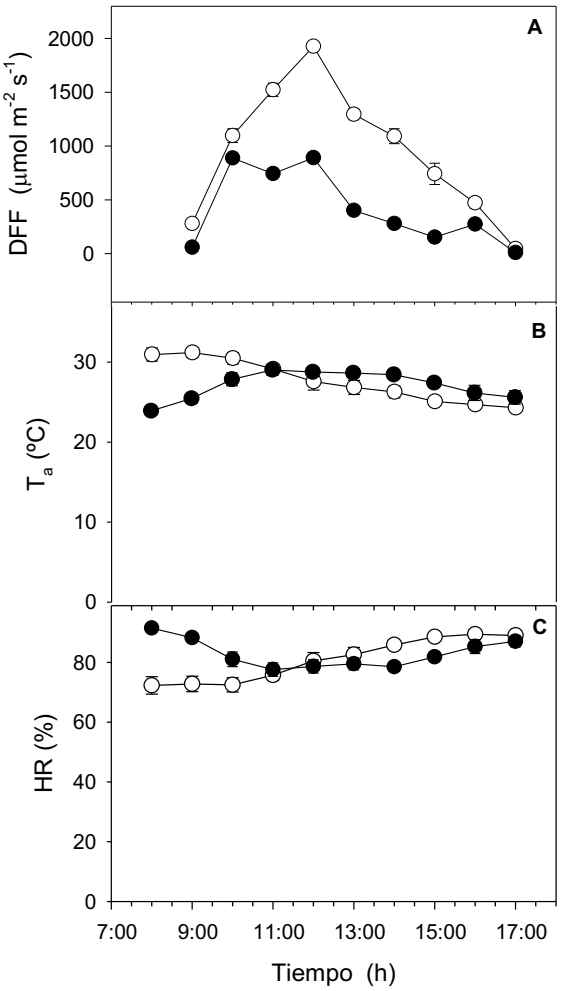

Figura 1. Curso diario de las variables microclimáticas: A. Densidad de flujo fotónico; B. Temperatura del aire; C. Humedad relativa. Las medidas realizadas en las dos diferentes condiciones del cultivo de cacao OC-61 a plena exposición solar (E, círculos abiertos) y en sombra (S, círculos cerrados). Los valores representados son los promedios ± error estándar de datos obtenidos durante un mes (n = 30).

Potencial hídrico

Los menores Ψ se observaron en hojas provenientes de árboles E (-0,34 MPa); mientras que los mayores Ψ (-0,21

MPa) se encontraron en S, S+A y E+A sin mostrar diferencias significativas, entre ellos (Figura 2).

Los árboles cacao en E mostraron menores valores de Ψ (-0,34 MPa) que los observados en S, debido a una mayor demanda evaporativa, que causó una mayor pérdida de agua por evapotranspiración en los individuos a plena exposición solar. Los Ψ observados en este estudio en todas las condiciones lumínicas estudiadas fueron similares a los reportados en 42 clones de cacaos trinitarios, criollos modernos y criollos del occidente de Venezuela en buena condición hídrica (Araque *et al*., 2012; Ávila-Lovera *et al*., 2016; Tezara *et al*., 2020).

Intercambio de gases

Los parámetros del intercambio gaseoso foliar (A, *Et*, g_s, C_i y EUA) de OC-61 en los diferentes tratamientos (S, S+A, E y E+A) se muestran en la Figura 2. Se observó una mayor A (6-7 μmol m^{-2} s^{-1}) en los tratamientos E y E+A en comparación con S y S+A (4 y 2 μmol m^{-2} s^{-1}). La menor *Et* (1,2 mmol m^{-2} s^{-1}) fue observada en E+A, sin observarse diferencias significativas en los otros tratamientos (S, S+A y E) mostrando un *Et* promedio de 1,7 mmol m^{-2} s^{-1}. Similar tendencia fue observada en g_s, se encontraron los menores valores de g_s (100 mmol m^{-2} s^{-1}) en E+A. Las menores C_i (208 μmol mol^{-1}) se obtuvieron en E+A, mientras que los mayores valores (326-347 μmol mol^{-1}) se observaron en S y S+A. La EUA fue 2 y 3 veces mayores en E+A y E que lo observado en S+A y S.

Los resultados de A y g_s encontrados en E y E+A concuerdan con los reportados en árboles de cacao Criollos y Trinitarios, cultivados a diferentes intensidades lumínicas (Araque *et al*., 2012; De Almeida *et al*., 2016, 2018; Ávila-Lovera *et al*., 2016; Tezara *et al*., 2016). Los valores de A y g_s medidos en plantas en E y S en el campo son similares a los reportados en otros clones de cacao forasteros bajo diferente condiciones crecimiento (Joly & Hahn, 1989; Miyaji *et al*., 1997; Daymond *et al*., 2011) y cacao ecuatoriano expuesto a plena exposición solar (Jaimez *et al*., 2018; Tezara Fernández *et al*., 2020). Se ha considerado las bajas A de las plantas cultivadas en sombra, como rasgos asociados a la tolerancia a la sombra, ya que no reciben las mismas DFF que las plantas cultivadas en plena exposición (Valladares & Niinemets, 2008).

La EUA fue 2 y 3 veces mayor en E+A y E que lo observado en S+A y S. Las mayores EUA en árboles expuestos fueron el resultado de altas A y una disminución en la transpiración en los árboles expuestos y hojas autosombreadas (E+A); una mayor EUA se traducirá en una mayor ganancia de carbono con una menor pérdida de agua, lo cual representa una optimización del uso de agua en árboles de OC-61 expuestos. Un aumento en DFF debería resultar en un aumento en EUA debido al aumento en A; sin embargo, el cacao de Chuao mostró una baja EUA en alta DFF, debido a daños fotoquímicos y reducción de A (De Almeida *et al*., 2018). La EUA puede disminuir si la disponibilidad de agua del suelo es un limitante de la A.

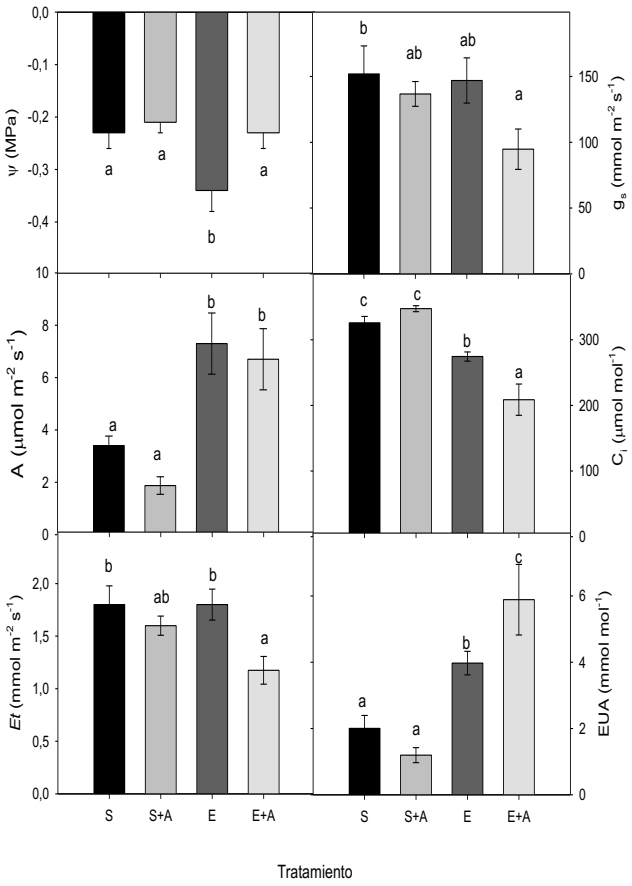

Figura 2. Potencial hídrico (Ψ), tasa fotosintética (A), transpiración (*Et*), conductancia estomática (g_s), concentración intercelular de CO_2 (C_i), eficiencia del uso de agua (EUA) en los árboles de cacao (OC-61) con los tratamientos: sombra (S), sombra con auto sombreado (S+A), expuesto (E), y expuesto con autosombreado (E+A). Los valores representados son los promedios ± error estándar (n = 5). Las diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos.

Actividad fotoquímica del PSII

No se encontraron diferencias significativas en F_v/F_m entre tratamientos; 0.807 ± 0,003 y 0,809 ± 0,003 en E y S, respectivamente. Los parámetros de actividad fotoquímica (J, Φ_{PSII}, q_P y q_N) en árboles sometidos a los diferentes tratamientos (S, S+A, E y E+A) se muestran en

la Figura 3. En la mayoría de los tratamientos, no hubo diferencias significativas en J entre tratamientos y la DFF de medida (100, 500, o 1000 μmol m^{-2} s^{-1}); excepto en E, donde se obtuvo la mayor J (53 μmol e^- m^{-2} s^{-1}). Un patrón similar fue observado para Φ_{PSII}, q_P y q_N los máximos valores fueron obtenido para el tratamiento E a una DFF de 1000 μmol m^{-2} s^{-1} (Figura 3).

En este estudio, F_v/F_m fue 0,81 indicando un buen funcionamiento del aparato fotoquímico, característicos de plantas sanas no sometidas a ningún estrés (Maxwell & Johnson, 2000). No se observaron diferencias significativas en F_v/F_m en el clon OC-61 entre los tratamientos (S y E); indicando que E no afectó negativamente la actividad fotoquímica, y por lo tanto no causó daño del aparato fotoquímico (fotoinhibición). Similares valores de F_v/F_m han sido reportado en cacao Forastero, en plántulas de cacao Chuao cultivadas en invernadero a bajas DFF y plantas sombreadas en el campo (Daymond *et al*., 2011; Tezara *et al*., 2016; De Almeida *et al*., 2018). A diferencia, se han reportado bajos valores de F_v/F_m (0,66, 0,70 y 0,75) en plantas de cacao cultivadas a plena exposición solar, baja disponibilidad de fósforo y sequía; solo el estrés lumínico causó fotoinhibición (Galyuon *et al*., 1996; Araque *et al*., 2012; Ávila-Lovera *et al*., 2016).

El mayor J se encontró en plantas cultivadas en E medidos a alta DFF en comparación con plantas en S, S+A y E+A, sugiriendo que el valor obtenido de A para dicho tratamiento se encuentra relacionado con mayores Φ_{PSII} y q_P (la mayor cantidad de centros de reacción "abiertos"). Plantas sometidas a un alto DFF en el campo mostró aumentos en J con DFF en comparación con a aquellos medidos baja DFF, como se reportó en plántulas de cacao en el invernadero (De Almeida *et al*., 2018).

Un mayor transporte de electrones explica parcialmente las mayores tasas de fotosíntesis y por lo tanto mayor producción de fotoasimilados en E. Los máximos valores de J (53 μmol e^- m^{-2} s^{-1}) en plantas de OC-61 en E, fueron inferiores a los reportados en árboles de cacaos Criollo Modernos y Criollos (90 µmol e^- m^{-2} s^{-1}; De Almeida *et al*., 2018; Ávila-Lovera *et al*., 2016). Los bajos valores de A del cacao podrían explicarse en gran medida por el bajo J (Ávila-Lovera *et al*., 2016). Las mayores J estuvieron asociadas a mayores Φ_{PSII}, q_P y a un aumento de q_N en plantas en E sugiere, que OC-61 fue eficiente disipando el exceso de energía en forma de calor, mostrando una regulación positiva del aparato fotoquímico (fotoprotección), similar a los cacaos Criollos en el occidente de Venezuela (Araque *et al*., 2012, Ávila-Lovera *et al*., 2016).

Contenido de pigmentos fotosintéticos

Los valores obtenidos de la Cl_a, Cl_b, Cl_{a+b} y C_{x+c}, en hojas de los árboles de cacao OC-61 en los tratamientos S, S+A, E y E+A se muestran en la Figura 4. Se encontró una mayor concentración de Cl_a en las hojas de los tratamientos (S, S+A, y E+A) en comparación con E, alcanzándose el valor más alto en S (32,4 ± 2,5 μg cm^{-2}) y el más bajo en E (19,2 ± 1,4 μg cm^{-2}).

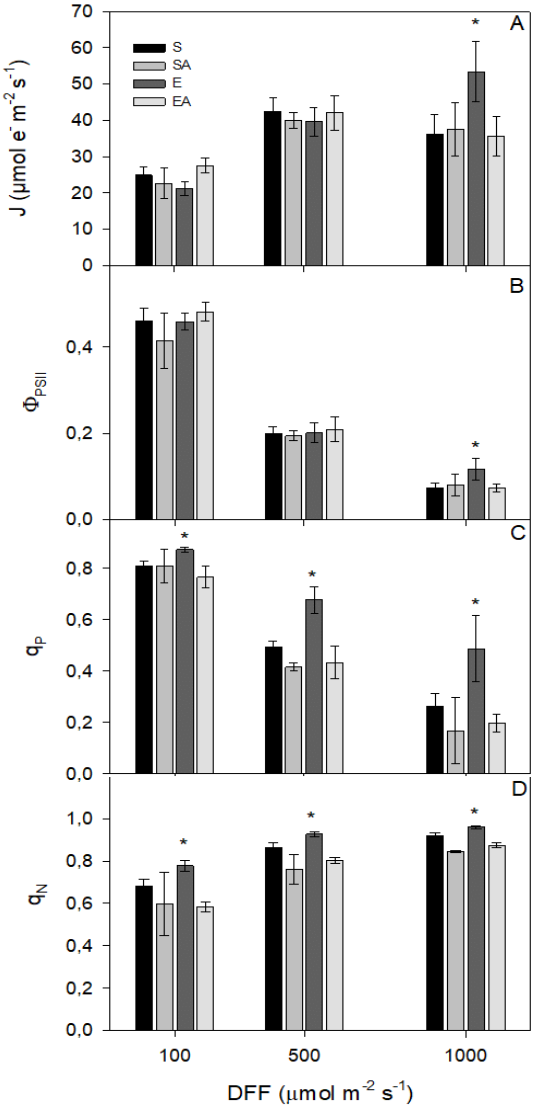

Figura 3. Transporte total de electrones (J), Eficiencia cuántica relativa del PSII (Φ_{PSII}), Coeficiente de extinción fotoquímica (q_P) y Coeficiente de extinción no fotoquímica (q_N) determinados a tres diferentes densidades de flujo de fotones (DFF) en hojas provenientes de los árboles de cacao (OC-61) de los tratamientos S, S+A, E y E+A. Los asteriscos indican diferencias significativas entre tratamientos. Los valores representados son los promedios ± error estándar (n = 4).

La Cl_b y Cl_{a+b}, mostró un patrón similar, es decir mayores concentraciones en S (11,7 ± 0,9 y 42,9 ± 3,4 μg cm^{-2}) que

en E (6,9 ± 0.6 y 25,7 ± 1,9 μg cm^{-2}), respectivamente. Se observó una mayor concentración C_{x+c}, en los tratamientos S y S+A en comparación con el tratamiento E, encontrándose el mayor valor en S (11,5 ± 0,5 μg cm^{-2}) y el menor en E (7,9 ± 0,9 μg cm^{-2}).

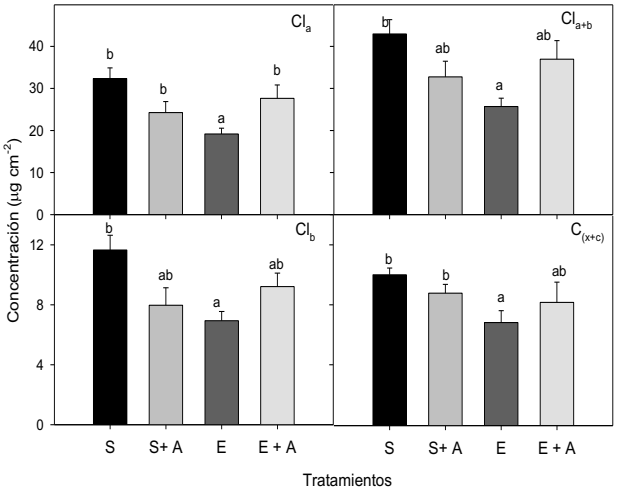

Figura 4. Concentración de clorofila a (Cl_a), clorofila b (Cl_b), clorofila total (Cl_{a+b}) **y** carotenoides totales (C_{x+c}), en hojas de los árboles de cacao (OC-61) en los tratamientos S, S+A, E y E+A. Los valores representados son los promedios ± error estándar (n = 5). Las diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos.

Las diferencias en el contenido de Cl_{a+b} entre los tratamientos S y E, se deben a las adaptaciones de las plantas de sombra para mejorar la capacidad de captura de luz (De Almeida *et al*., 2018). Esta respuesta de mayor contenido de clorofilas en S, permite a estos árboles ser más eficientes utilizando bajas DFF. El contenido de Cl_{a+b} fue similar a los reportados en cacaos venezolanos en campo en condiciones de sombra (Tezara *et al*., 2016), fueron más del doble que en clones Trinitario cultivado a 946 µmol m^{-2} s^{-1} (Bertolde *et al*., 2012) y solo la mitad de cacao Forastero cultivados en condiciones de invernadero a baja DFF (Daymond *et al*., 2011). El mayor contenido de C_{x+c} en S en comparación con E, pudo deberse al contenido de Cl_{a+b}, variable directamente proporcional con el número de los fotosistemas/complejos antena. Sin embargo, se esperaba un mayor contenido de C_{x+c} en árboles expuestos al ser más tolerantes a la exposición solar, contribuyendo a la fotoprotección de los fotosistemas (Valladares & Niinemets, 2008; De Almeida *et al*., 2018); probablemente con la concentración de C_{x+c} obtenida en E, se disipó de manera eficiente el exceso de energía y explicaría la ausencia de fotoinhibición en E.

La Cl_{a+b} fue similar a los encontrados en el cacao Chuao; mientras que el C_{x+c} fue el doble, probablemente para proporcionar fotoprotección (De Almeida *et al*., 2018). En el presente estudio la relación Cl_{a+b}/C_{x+c} se mantuvo constante; a diferencia de lo reportado en el cacao de Chuao, donde la alta DFF disminuyó la relación Cl_{a+b}/C_{x+c} producto de una reducción de Cl_{a+b} y un aumento de C_{x+c}, consistente con lo observado en especies con una menor tolerancia a la S (Valladares & Niinemets, 2008).

Se obtuvo una correlación positiva entre C_{X+C} y Cl_{a+b} (r = 0,92) y entre C_{X+C} y Cl_a (r = 0,90), sugiriendo que en OC-61, la relación Cl_{a+b}/C_{X+C} (3,6) en los complejos colectores de luz de los fotosistemas fue similar en todas las condiciones.

No hubo diferencias significativas en las concentraciones de pigmentos fotosintéticos y los parámetros de fluorescencia de la clorofila entre los tratamientos S+A, S y E+A. Por el contrario, en los árboles cultivados a plena exposición solar (E), el contenido de pigmentos fotosintéticos fue menor en comparación con S+A, S y E+A; el J y Φ_{PSII} fue mayor a una DFF de 1000 µmol m^{-2} s^{-1}; mientras que, el q_P y q_N fueron más altos para E en los 3 DFF de medidas (100, 500 y 1000 µmol m^{-2} s^{-1}). Estos resultado sugieren que la aclimatación de la hojas de árboles de OC-61 a estos ambientes de luz incidente, generaran una respuesta diferencial del aparato fotoquímico.

CONCLUSIONES

El cacao es considerado un cultivo tolerante a la sombra; en Venezuela, tradicionalmente es cultivado en el sotobosque con baja disponibilidad lumínica; sin embargo, el clon OC-61 cultivado a plena exposición solar mostró un buen desempeño fisiológico. Una reducción del 53% en la DFF que incide sobre el cacao OC-61, afectó significativamente el estado hídrico, intercambio gaseoso, actividad fotoquímica y concentración de pigmentos fotosintéticos.

Los árboles de cacao OC-61 mostraron cambios en los rasgos fisiológicos en respuesta a la plena exposición solar apoyando nuestra hipótesis de trabajo: mayores A, EUA, J, Φ_{PSII}, q_P; y una mayor disipación térmica en forma de calor; sin reducción en F_v/F_m indicando la ausencia fotoinhibición.

El cacao OC-61 es un cultivo tolerante a la sombra; sin embargo, los resultados indicaron que puede aclimatarse a plena exposición solar, sin que ocurran daños al funcionamiento del PSII; lo que podría representar una ventaja fisiológica; una mayor capacidad fotosintética y una mejor EUA se traduciría en una mayor producción de fotoasimilados lo cual podría representar una ganancia importante para lograr altos rendimientos.

Agradecimiento

Agradecemos a la Fundación Empresas Polar, CDCH-UCV PGE 03-036-2018/1, Corporación para el Desarrollo Científico y Tecnológico (CODECYT, S.A.) y FONACIT Nº 2019000026, por el apoyo financiero. Gracias a Freddy Fischer de la granja Bromelias, por permitirnos trabajar y desarrollar esta investigación en sus instalaciones.

LITERATURA CITADA

Alvim, P. de T. 1977. Cacao. In: Alvim P de T, Kozlowsky TT, eds. Ecophysiologv of Tropical Crops. London: Academic Press, 279-313.

Araque, O., Jaimez, R.E., Tezara, W., Coronel, I., Urich, R., Espinoza, W. 2012. Comparative photosynthesis, water relations, growth and survival rates in juvenile Criollo cacao cultivars (*Theobroma cacao*) during dry and wet seasons. Experimental Agriculture 48: 513 – 522.

Ávila-Lovera, E., Coronel, I., Jaimez, R., Urich, R., Pereyra, G., Araque, O., Chacón, I., Tezara, W. 2016. Ecophysiological traits of adult trees of Criollo cocoa cultivars (*Theobroma cacao* L.) from a germplasm bank in Venezuela. Experimental Agriculture 52: 137–153.

Baligar, V., Bunce, J., Machado, R., Elson, M. 2008. Photosynthetic photon flux density carbon, dioxide concentration and vapor pressure deficit effects on photosynthesis in cacao seedlings. Photosynthetica 46: 216–221.

Bertolde F.Z., Almeida A-A.F., Pirovani C.P., Gomes F.P., Ahnert D., Baligar V.C., Valle R.R. 2012. Physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to flooding. Photosynthetica 50: 447–457.

Bruinsma, J. 1963. The quantitative analysis of chlorophylls a and b in plant extracts. Photochemistry and Photobiology 2(2): 241–249. doi:10.1111/j.1751-1097.1963.tb08220.x

Daymond, A., Tricker, P.J., Hadley, P. 2011. Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. Biologia Plantarum 55: 99–104.

De Almeida, J., Tezara, W., Herrera, A. 2016 Physiological responses to drought and experimental water deficit and waterlogging of four clones of cocoa (*Theobroma cacao* L.) selected for cultivation in Venezuela. Agricultural Water Managment 171: 80–88.

De Almeida, J.; Herrera, A; Tezara W. 2018. Phenotypic plasticity to photon flux density of physiological, anatomical and growth traits in a modern Criollo cocoa clone. Physiologia Plantarum 166(3): 821–832.

Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M. I., Weigend, M. 2011. Hoja Botánica: Cacao (*Theobroma cacao* L.). Reporte técnico, Museo de Historia Natural. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Primera edición.

Galyuon, I.K.A., McDavid, C.R., Lopez, F.B., Spencem J.A. 1996. The effect of irradiance level on cacao (*Theobroma cacao* L.). II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence. Tropical agriculture 73: 29–33

Genty, B., Briantais, J., Baker, N. 1989. The relationships between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Biochimica et Biophysica 990:87–92.

Herzog, F. 1994. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. Agroforestry Systems 27: 259–267.

Hutcheon, W.W. 1976. Photosynthesis of cacao. Annual Report1973-74, Cacao Research Institute, Ghana, 186-190.

Jaimez, R.E., Tezara, W., Coronel, I., Urich, R. 2008 Ecophysiology of cocoa (*Theobroma cacao* L.): its management in agro forestry system. Suggestions for improvement in Venezuela. Revista Forestal de Venezuela 35 (2): 253 – 258.

Jaimez, R., Amores, F., Vasco, A., Loor, R., Tarqui, O., Quijano, G., Jiménez, J., Tezara, W. 2018. Photosynthetic response to low and high light of cacao growing without shade in an area of low evaporative demand. Acta biológica Colombiana. 23(1): 95–103.

Jaimez, R.E., Loor, R., Arteaga, F., Márquez, V., Tezara, W. 2021. Differential response of photosynthetic activity, leaf nutrient content and yield to long-term drought in cacao (*Theobroma cacao* L.) Accepted 03th December 2021 in Acta agronomica.

Jaimez. R.E., Barragan, L, Fernández-Niño, M., Wessjohann, L.A., Cedeño-Garcia, G., Sotomayor, Cantos, I., Arteaga, F. 2022. *Theobroma cacao* L. cultivar CCN 51: a comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. PeerJ 10:e12676 http://doi.org/10.7717/peerj.12676.

Joly, R., Hahn, D. 1989. Net assimilation of cacao seedlings during periods of plant water deficit. Photosynthesis Research 21: 151–159.

Krall, J.P., Edwards, G.E. 1992. Relationship between photosystem II activity and CO_2 fixation in leaves. Physiologia Plantarum 86: 180 – 187.

Leiva-Rojas, E.I., Gutiérrez-Brito, E.E., Pardo-Macea C. J., Ramírez-Pisco R. 2019. Comportamiento vegetativo y reproductivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) por efecto de la poda. Revista Fitotecnia Mexicana 42 (2): 137 – 146.

Martins, S. C. V., Galmés, J., Cavatte, P. C., Pereira, L. F., Ventrella, M. C., DaMatta, F. M. 2014. Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis. PlosOne 9: 1- 10.

Matos, F. S., Wolfgramm, R., Gonçalves, F. V., Cavatte, P., Ventrella, M., DaMatta, F. M. 2009. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. Environmental and Experiment Botany 67: 421–427.

Maxwell, K., Johnson, G. 2000. Chlorophyll fluorescence a practical guide. Journal Experimental Botany 51: 659–668.

Miyaji, K.L., da Silva, W.S., Alvim, P.D.T. 1997. Productivity of leaves of a tropical tree, Theobroma cacao, grown under shading. Relation to leaf age and light conditions within the canopy. New Phytologist 137: 463–472.

Motamayor, J., Risterucci, A., Lopez, P., Ortíz, C., Moreno, A., Lanaud, C. 2002. Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. Heredity 89: 380-385.

Tezara, W., De Almeida, J., Valencia, E., Cortes, J., Bolaños, M. 2015. Actividad fotoquímica de clones élites de cacao (*Theobroma cacao* L.) ecuatoriano en el Norte de la Provincia Esmeraldas. Investigación y Saberes IV 3: 37-52.

Tezara, W., Urich, R., Jaimez, R., Coronel, I., Araque, O., Azocar, C., Chacón, I. 2016. Does Criollo cocoa have the same ecophysiological characteristics as Forastero? Botanical Sciences 94(3): 563–574.

Tezara, W., Pereyra, G., Ávila-Lovera, E., Herrera A. 2020. Variability in physiological responses of venezuelan cacao to drought. Experimental Agriculture 56: 407–421. doi:10.1017/S0014479720000058.

Tezara Fernández, W., Valencia Caicedo, EE, Reynel Chila, V.H., Bolaños Ortega, M.J., Blanco-Flores, H. 2020. Actividad fotosintética de 10 clones de cacao nacional y su relación con el rendimiento. Revista ESPAMCIENCIA 11(1): 19-27.

Valladars, F., Niinemets, Ü. 2008. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 38: 237–257.

Wellburn, A. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Journal Plant Physiology 144: 307 – 313.

Zhang, D., Boccara, M., Motilal, L., Mischke, S., Johnson, E. S., Butler, D. R., Bailey, B., Meinhardt, L. 2009. Molecular characterization of an earliest cacao (*Theobroma cacao* L.) collection from Upper Amazon using microsatellite DNA markers. Tree Genetics Genomes 5(4): 595–607.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS DE SILAJES DE FORRAJE DE MAÍZ CON LA INCLUSIÓN DE GALLINAZA Y FORRAJE DE SOYA

FERMENTATIVE CHARACTERISTICS OF CORN FORAGE SILAGES WITH THE INCLUSION OF POULTRY MANURE AND SOYFOOD

Juan Avellaneda-Cevallos[1, 2], Edwin Tapia-Moreno[1], Denisse Arana-Sánchez[2], Rocío Herrera-Herrera[3], Edgar Pinargote-Mendoza[1], Juan Avellaneda-Vázquez[1]

[1]Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo- Los Ríos Ecuador. "La María" km 7 vía Quevedo-El Empalme
[2]Programa de Ganadería y Pastos, Estación Experimental Tropical Pichilingue, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)
[3]Carrera de Medicina Veterinaria, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador

Email: javellaneda@uteq.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
31/01/2022

Aceptado:
21/07/2022

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
13(1):10-15

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i1.308

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo cuantificar la capacidad de fermentación y calidad nutricional del ensilaje de maíz con la inclusión de fuentes de nitrógeno como gallinaza y forraje de soya (*Glicine max* (L.) Merr.). Los tratamientos fueron: Forraje de maíz solo o control (FM); Maíz con inclusión de 10% de forraje de soya (FS10); Maíz con 20% de forraje de soya (FS20); T4, Maíz con 30% de forraje de soya (FS30); T5, Maíz con 5% de gallinaza (G5); T6, Maíz con 10% de gallinaza (G10) y T7, Maíz con 15% de gallinaza (G15). Se evidenció que la adición de Gallinaza incremento significativamente el contenido de Materia seca (MS), mientras que el Forraje de soya (FS) presentó similitud con el testigo. El contenido de proteína total (PT) por efecto de la adición de FS, fue mayor a los otros tratamientos estudiados. Las fuentes de nitrógeno empleadas, no afectaron el contenido de fibra total (FT). El valor de la concentración de cenizas (C), fue fuertemente afectado por la adición de gallinaza. El contenido de nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_3$), se incrementó con la inclusión de gallinaza en el proceso de ensilaje. El valor de pH, la concentración de ácido láctico y butírico fue significativamente superior con la adición de gallinaza. En conclusión, se puede indicar que la adición tanto de gallinaza como de forraje de soya, mejoran el contenido nutricional del silaje de maíz, sin embargo, la inclusión de forraje de soya es mucho más favorable en término de las variables fermentativas.

Palabras clave: Silaje, fermentación, nitrógeno, gallinaza, soyas, aditivos

Abstract

The objective of this research was to quantify the fermentation capacity and nutritional quality of corn silage with the inclusion of nitrogen sources such as chicken manure and soybean forage (*Glicine max* (L.) Merr.). The treatments were: corn forage alone or control (FM); Corn with inclusion of 10% soybean forage (FS10); Corn with 20% soybean forage (FS20); T4, Corn with 30% soybean forage (FS30); T5, Corn with 5% chicken manure (G5); T6, Corn with 10% chicken manure (G10) and T7, Corn with 15% chicken manure (G15). It was evidenced that the addition of poultry manure significantly increased the content of dry matter (DM), while the soybean forage (FS) presented similarity with the control. The total protein content (TP), due to the effect of the addition of FS, was higher than the other treatments studied. The nitrogen sources used did not affect the total fiber content (TF). The ash concentration value (C) was strongly affected by the addition of chicken manure. The content of ammoniacal nitrogen (N-NH3) increased with the inclusion of chicken manure in the silage process. The pH value, the concentration of lactic and butyric acid was significantly higher with the addition of chicken manure. In conclusion, it can be indicated that the addition of both chicken manure and soybean forage improve the nutritional content of corn silage, however, the inclusion of soybean forage is much more favorable in terms of fermentative variables.

Keywords: Silage, fermentation, nitrogen, poultry manure, soybeans, additives.

INTRODUCCIÓN

En zonas tropicales como en Ecuador el régimen de lluvias limita la disponibilidad del pasto durante el verano afectando la productividad ganadera. Por otro lado, la ampliación de la frontera agrícola y su generación de residuos de cosechas y subproductos agroindustriales induce a la implementación de sistemas de producción cada vez más intensivos, cuyo balance alimentario permita el máximo y regular rendimiento animal. Tal regularidad es el reflejo de la oferta continua de alimento, que en parte se logra a través de la conservación de forrajes (Rotz y Muck, 1994).

La técnica de conservación, como silaje, es de aplicación mundial (Wilkinson y Davies, 2012) y entre los pastos el maíz (*Zea mays*) cultivado como forraje y ensilado, es de mayor aceptación debido a su regularidad de producción y atributos nutricionales, composición química y óptimas características fermentativas, (Khan *et al*., 2014), no obstante el bajo contenido de nitrógeno de esta planta, hace que se traslade este valor al ensilaje y por lo tanto el aporte nutricional al sistema ruminal sea restringido (Castillo Jiménez *et al*., 2009), por lo que se hace necesaria la búsqueda de alternativas para incrementar el contenido proteico para mejorar su calidad y con ello la productividad animal.

Para tal propósito la gallinaza es una alternativa, como subproducto agroindustrial, de rápida y suficiente disponibilidad con elevado contenido de nitrógeno proteico y no proteico (van Ryssen, 2001). Es de gran utilidad en la alimentación de rumiantes principalmente por esta característica, (Hadjipanayiotou *et al*., 1993), aunque debe considerarse que en su mayor parte se halla en forma de nitrógeno no proteico (NNP), representando una alternativa al ser asociado a los procesos en conservación de forrajes para mejorar el contenido de estos que generalmente poseen bajo valor en este nutriente (Estrada-Pareja, 2005).

Otra alternativa es la soya cultivada como forraje, (Hintz *et al*., 1992), es de gran producción de biomasa y fuente de nitrógeno sostenible con la madurez (Touno *et al*., 2014), mismo que tiene una alta solubilidad e incrementa con el proceso de ensilaje (Mustafa *et al*., 2007), lo que permite que presumir una mejor relación del uso de los carbohidratos y compuestos nitrogenados para así favorecer la multiplicación bacteriana. Por ello este trabajo planteó cuantificar la capacidad de fermentación y calidad nutricional del ensilaje de maíz con la adición de fuentes de nitrógeno como gallinaza y forraje de soya (*Glicine max* (L.) Merr.), como alternativa de alimentación de rumiantes en condiciones tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo, en el cantón Quevedo, provincia de Los Ríos-Ecuador, en la Finca Experimental "La María" de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) ubicada en el Km 7,5 vía Quevedo-El Empalme, entrada al cantón Mocache, en las coordenadas geográficas 79º 27' de longitud Oeste y 01º 06' de Latitud Sur 73 msnm. Según el sistema de clasificación de las zonas de vida de Holdridge, la localidad de Quevedo se encuentra dentro de la zona ecológica Bh-T.

Para determinar la composición química en términos de contenido de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína total (PT), fibra total (FT) y cenizas (C) se empleó la metodología sugerida por la AOAC (1990), y las características fermentativas de los silajes, en lo referente a la concentración de ácido láctico fue determinado espectrofotométricamente de acuerdo a Baker y Summerson (1941), ácido acético y butírico mediante lo establecido por Erwin *et al*. (1961), Nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_3$) según McCullough (1967), y el pH mediante el empleo de un potenciómetro (Orión Research, Inc Type 260A); en el Laboratorio de Bromatología de la Escuela Politécnica del Chimborazo (ESPOCH).

Tratamientos y Diseño Experimental

El experimento estuvo conformado por siete tratamientos y cuatro repeticiones, cada uno constituido por un microsilaje de maíz más un aditivo nitrogenado de 60 días de fermentación, contenido en un tanque de plástico de 20 litros de capacidad. Los tratamientos fueron: Forraje de maíz solo o control (FM); Maíz con inclusión de 10% de forraje de soya (FS10); Maíz con 20% de forraje de soya (FS20); T4, Maíz con 30% de forraje de soya (FS30); T5, Maíz con 5% de gallinaza (G5); T6, Maíz con 10% de gallinaza (G10) y T7, Maíz con 15% de gallinaza (G15). Todos los microsilajes fueron mezclados con 3% melaza en relación al peso.

Para el análisis estadístico se empleó el paquete SAS (SAS, 2004). Se realizó el análisis de varianza ANOVA de un diseño completamente aleatorizado con comparaciones ortogonales y polinomios ortogonales. Cuando existieron diferencias estadísticas significativas entre grupos y dentro de grupos se aplicó la prueba de separación de medias: Tukey, testando probabilidades menores a 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química

Las respuesta de la presente investigación en lo referente al contenido de materia seca del ensilaje de Forraje de Maíz (FM, testigo) fueron similares a los reportados por Fonseca *et al*. (2000) y Jalc *et al*. (2009), sin embargo, comparando el testigo ensilado, al que se le adicionó gallinaza (G) y soya (FS) en su conjunto, el que recibió la inclusión de gallinaza, incrementó ($P<0,01$) en 4.1 % el contenido de materia seca (MS), estos resultados concuerdan con los reportados por Mthiyane *et al*. (2001) quien con el fin de evaluar las características del ensilaje del forraje de caña de azúcar asociado a pollinaza encontró un comportamiento creciente en el contenido de esta

variable. Por otra parte, el FS provocó una reducción de 7,0 % (P>0,05), siendo el ensilaje con el de mayor nivel de inclusión (15%) de este desecho avícola el que reportó el más alto contenido de materia seca (P<0,01). El efecto de la gallinaza sobre el contenido de la MS fue lineal y positivo, y con igual tendencia, pero negativo el ensilaje elaborado con forraje de soya (FS; P<0,01). El contenido de MS del ensilaje con el nivel de 10% de FS fue superior (P<0,05) al ser comparado con los otros niveles de inclusión.

Coincidentemente con los resultados de esta investigación, Fonseca *et al*. (2000), encontraron que el ensilaje de maiz presentó valores promedios de PT de 81 g Kg^{-1} de MS, aunque Possenti *et al*. (2005) y Castillo Jiménez *et al*. (2009) reportaron valores ligeramente superiores. Los resultados del contenido de proteína total (PT), en esta investigación demostraron que con la inclusión de FS mejoró (P<0.01) el contenido de este nutriente en el ensilaje de FM, similar a lo reportado por Ojeda *et al*. (2006). Mientra que dentro de FS los tres niveles tuvieron el mismo efecto (P>0.05); así mismo, la adición de gallinaza al ensilaje no estimuló cambio alguno en esta variable; este comportamiento, en contrario al reportado por Mthiyane *et al*. (2001) quien con niveles incrementales de gallinaza, el ensilaje presentó mayor contenido de proteina total. La inclusión tanto de gallinaza como de forraje de soya no afectó el contenido de fibra total (FT) del silaje de FM, sin embargo, evaluando el efecto directo de la gallinaza como nivel incremental (G10 y G15) condujo a un menor contenido fibra. El efecto de la inclusión de gallinaza presentó una disminución lineal en el contenido de paredes celulares (P<0.05), estos resultados concuerdan con los reportados por Mthiyane *et al*. (2001), quienes demostraron que con el incremento de la inclusión de pollinaza las concentraciones de la fracciones fibrosas del ensilaje fueron inferiores al testigo; sin embargo, estos resultados son contrarios a los reportados por Zhu *et al*. (2011), en terminos del uso de la inclusión de leguminosas en el ensilaje de FM.

Al comparar el efecto de la inclusión de gallinaza y el forraje de soya en el ensilaje de FM, solo la gallinaza incrementó el contenido de Ceniza (P<0.01), ya que el testigo presentó valores de 6.9% de esta fracción, siendo estos valores similares a los reportados por Possenti *et al*. (2005) y superiores a los indicados por Khan *et al*. (2012). Debe indicarse que, que la inclusión de gallinaza en el ensilaje de FM presentó una tendencia lineal positiva de esta variable (P<0.01). En cuanto al contenido de materia orgánica (MO), la inclusión de forraje de soya propició iguales respuestas a las demostradas por el testigo, siendo estos superiores (P<0.01) con relación al FM con inclusión de gallinaza; la misma que tuvo una tendencia lineal decreciente al incrementar sus niveles (P<0.01) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de aditivos nitrogenados sobre la concentración de materia seca, proteína, fibra, cenizas y materia orgánica (g kg^{-1} MS) en microsilos de maíz forrajero.

Variables	Materia Seca	Proteína	Fibra	Ceniza	Materia Orgánica
Entre grupos					
Testigo	282,7 b	79,43 b	312,08	69,28 b	930,73 a**
Gallinaza (G)	323,78 a **	100,52 b	285,63	160,56a**	839,44 b
Soya (S)	275,7 b	133,71 a**	283,14	86,57 b	913,43 a
Testigo vs G + S					
Testigo	282,7b	79,43 b	312,08	69,28	930,73 a**
G + S	299,74 a**	117,12 a**	284,39	123,57 a**	876,44b
G vs S					
G	323,78a**	100,52 b	285,63	160,56 a**	820,875 b
S	275,7b	133,71 a**	283,14	86,57b	913,43 a**
Dentro de G					
G5	308,325 b	107,58	309,35	123,43 c**	876,58 a**
G10	320,8 b	91,55	282,95	164,65 b	835,35 b
G15	342,2 a**	102,43	264,6	193,6 a*	806,4 c*
G5 vs G10 + G15					
G5	308,33 b	107,58	309,35 a*	123,43 b	876,58 a**
G10 + G15	331,5 a**	96,99	273,78 b	179,13 a**	820,875 b
G10 vs G15					
G10	320,8 b	91,55	282,95	164,65 b	835,35 a**
G15	342,2 a**	102,43	264,6	193,6 a**	806,4 b
Dentro de S					
S10	286,56 a*	122,23	285,18	84,74	915,26
S20	270,43b	141,78	285,51	85,83	914,18
S30	270,1 b	137,13	278,74	89,15	910,85
S10 vs S20 + S30					
S10	286,575 a**	122,23	285,18	84,74	915,26
S20 + S30	270,27 b	139,46	282,13	87,49	912,52
S20 vs s30					
S20	270,425	141,78	285,51	85,83	914,18
S30	270,1	137,13	278,74	89,15	910,85

[a,b.] Promedios con el mismo literal son estadísticamente iguales según Tukey (P<0.05).

Cuadro 2. Efecto de aditivos nitrogenados sobre la concentración de nitrógeno amoniacal, pH, ácido láctico, ácido acético, ácido butírico (g kg $^{-1}$ MS), en microsilos de maíz forrajero.

Variables	N-NH_3	pH	Ácido láctico	Ácido acético	Ácido butírico
Entre grupos					
Testigo	15,49 b	4,28 b	36,3 a	8,9	0,1 b
Gallinaza (G)	18,65 a**	4,91 a*	38,0 a**	10,9	9,8 a**
Soya (S)	16,35 b	3,68 c*	18,9 b	8,6	0,2 b
Testigo vs G + S					
Testigo	15,49b	4,28	36,3 a*	8,9	0,1 b
G + S	17,5 a**	4,29	28,5 b	9,7	5,0 a**
G vs S					
G	18,65 a**	4,91 a**	38,0 a**	10,9 a*	9,8 a**
S	16,35 b	3,68 b	18,9 b	8,6 b	0,2 b
Dentro de G					
G5	18,04	4,70	37,6	10,9	5,2b
G10	19,28	4,80	40,7	10,9	8,8b
G15	18,62	5,23	35,7	10,8	15,3 a**
G5 vs G10 + G15					
G5	18,04	4,70	37,6	10,9	5,2 b
G10 + G15	18,95	5,02	38,2	10,9	12,1 a**
G10 vs G15					
G10	19,28	4,80	40,7	10,9	8,8 b
G15	18,62	5,23	35,7	10,8	15,3 a**
Dentro de S					
S10	16,64	3,56	16,7	7,4	0,2
S20	16,68	3,69	18,9	8,3	0,2
S30	15,74	3,78	21,1	10,1	0,2
S10 vs S20 + S30					
S10	16,64	3,56	16,7	7,4	0,2
S20 + S30	16,21	3,74	20,0	9,2	0,2
S20 vs s30					
S20	16,68	3,69	18,9	8,3	0,2
S30	15,74	3,78	21,1	10,1	0,2

[a,b.] Promedios con el mismo literal son estadísticamente iguales según Tukey (P<0.05).

Características fermentativas

Las concentraciones N-NH_3 como parte proporcional del N total del ensilaje con gallinaza, demostró mayor concentración, al compararse con el testigo y con el ensilaje con forraje de soya; siendo la tendencia de estos resultados similares a los reportados por Zhu *et al*. (2011), quienes evaluaron la inclusión de *Pisum sativum* en el ensilaje de FM; acción que demuestra que la inclusión de la gallinaza tiene efectos negativos en el proceso de conservación del FM con inclusión de gallinaza, asociando esta respuesta a la alta concentración de N-NH_3 presente en este subproducto avícola.

El potencial de hidrogeniones (pH) del ensilaje de FM presentó un valor de 4.28, valor superior a los reportados por Fonseca *et al*. (2000), Steidlová & Kalac (2002), Branislav *et al*. (2008) y Weinberg *et al*. (2011). Sin embargo, es importante mencionar, que la inclución de gallinaza elevó el pH, mientras que el forraje de soya lo disminuyó (P<0.05), lo anterior en terminos de las respuesta de la adición del forraje de soya, puede ser explicado por el alto contenido de humedad de la forraje de soya utilizado en la presente investigación, el cual como lo menciona Giver-Revendin *et al*. (2002), a las fuentes alimenticias con alto contenido de humedad, se las considera que tienen un alta capacidad de retención de agua; misma que demuestran la posibilidad de reduccion de pH.

La concentración de ácido láctico (AL) del ensilaje de FM, reportó valores de 36. 3 g kg^{-1} de MS, valores que son similares a los reportados por Weinberg *et al*. (2011). Es indispensable menconar que que no existión diferencias entre el FM y el forraje que contenía G, esto pudiera deberse al proceso de conservación del forraje; sin embargo, la adicion del forraje de soya deprimió la fermentación lactica, fenomeno asociado al estado de madurez. En cuanto al ácido acético (AA) solo la G incremento (P<0.05) su concentración en el FM, mientras que la inclusión de gallinaza y de forraje de soya incrementó significativamente (P<0.01) la concentración de ácido butírico (AB). La mayor inclusión de gallinaza indujo linealmente (P<0.01) mayor concentración de AB (Cuadro 2).

CONCLUSIONES

Se puede indicar que la inclusión de gallinaza y forraje de soya en el proceso de ensilaje del forraje de maíz, tiene efectos positivos relacionados con el incremento de las características nutritivas y fermentativas de esta gramínea forrajera, toda vez que la adición de gallinaza provocó incrementos de contenido de MS; el FS, mejoró el contenido de proteína, así como, las concentraciones de las variables de fermentación; por lo que estas respuestas hacen considerar que el uso de forraje de soya, es una buena alternativa para corregir las deficiencias nutricionales del forraje de maíz.

LITERATURA CITADA

AOAC (Association of Official Analytical Chemistry).. 1990. Official Methods of Analysis. (15th ed., Vol. 1). Washington, DC., USA: Association of Official Analytical Chemists.

Baker, B., & Summerson, W. 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. Journal of Biology and Chemistry, 538-554.

Branislav, G., Daniel, B., Miroslav, J., & Milan, S. 2008. Influence of silage additive on fermentation of high moisture crimped corn. Journal Central European Agriculture, 9(3):439-444.

Castillo Jiménez, M., Rojas-Bourillon, A., & Wing Chin-Jones, R. 2009. Valor nutricional del ensilaje de maiz cultivado en asocio con vigna (Vigna radiata). Agronomía Costarricense, 33(1):133-146.

Erwin, E., Marco, G., & Emery, E. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatograohy. Journal of Animal Science, 44: 1768-1776.

Estrada Pareja, M. M. 2005. Manejo y procesamiento de la gallinaza. Revista Lasallista de investigación, 2(1):43-48.

Fonseca , A., Cabrita, A., Lage, A., & Gomes, E. 2000. Evaluation of the chemical composition and the particle siza of maize solage produced in North-West of portugal. Animal Feed science and Technology, 83:173-183.

Giver-Revendin, S., Duvaux-Ponter, C., Sauvant , D., Martin, O., Nunes do Prado, I., & Muller, R. 2002. Intrinsic buffering capacity of feedstuffs. Animal Feed Science and Technology, 96:83-102.

Hadjipanayiotou, M., Verhaeghe, L., Labban, L., Shurbaji, A., El-Rahman Kronfoleh, A., Al-Wadi, M., . . . Kader Al-Haress, A. 1993. Feeding ensiled poultry excreta to ruminant animals in Syria. Livestock Research for Rural Development, 5(1).

Hintz, R., Albrecht, K., & Oplinger, E. 1992. Yield and quality of soybean forage as affected by cultivar and management practices. Agronomy Journal, 84(5):95-798.

Jalc, D., Laukova, A., Pogány, M., Váradyová, Z., & Homolka, P. 2009. Bacterial inoculant effects on corn silage fermentation and nutrient composition. Asian Australasian Journal of Animal Science, 22(7):977-983.

Khan, N. A., Yu, P., Ali, M., Cone, J. W., & Hendriks, W. H. 2014. Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. Journal of Science Food and Agriculture, 95(2):238-252.

Khan, N., Cone, J., Fievez, V., & Hendriks, W. 2012. Causes of variation in fatty acid content andcomposition in grass and maize silages. Animal Feed Science and Technology, 174:36-45.

McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. Clinical Chemistry Acta, 17:297-304.

Mthiyane, D., Nsahlai, I., & Bonsi, M. 2001. The nutritional composition, fermentation characteristics, in sacco degradation and fungal pathogen dynamics of sugarcane tops ensiled with broiler litter with or without water. Animal feed Science and Techology, 94:171-185.

Mustafa, A., García, J. C., Seguin, P., & Marois-Mainguy, O. 2007. Chemical composition, ensiling characteristics and ruminal degradability of forage soybeans cultivars. Canadian Journal of Animal Science, 87:623-629.

Ojeda, F., Montejo, I., & López, O. 2006. Estudio de la calidad fermentativa de la morera y la hierba de guinea ensilada en diferentes proporciones. Pastos y Forrajes, 29(2):195-200.

Possenti , R., Junior, E., Bueno, M., Bianchini, D., Leinz, F., & Rodrigues , C. 2005. Parametros bromatologicos e fermentativos das silagens de milho e girasol. Ciencia Rural, 35(5):1185-1189.

Rotz, C. A., & Muck, R. E. 1994. Changes in forage quality during harvest and storage. En G. C. Fahey, M. Collins, D. R. Mertens, L. E. Moser, & C. S. American Society of Agronomy (Ed.), Forage quality, evaluation and utilization. Silage Science and Technology. (págs. 828-868). Madison, Wisconsin, USA.

SAS. 2004. Institute.User´s Guide: Statistcs [CD-ROM Computer file]. Version 9. USA.

Steidlová, S., & Kalac, P. 2002. Levels of biogenic amines in maize silages. Animal Feed Science and Technology, 102:197-205.

Touno, E., Kaneko, M., Uozumi, S., Kawamoto, H., & Deguchi, S. 2014. Evaluation of feeding value of forage soybean silage as a sustitutive for wheat bran in sheep. Animal Science Journal, 85:46-52.

Van Ryssen, J. 2001. Poultry litter as a feedstuff for ruminants: A South African seense. South African Journal of Animal Science, 1-8.

Weinberg, Z., Khanal, P., Yildiz, C., Chen, Y., & Arieli, A. 2011. Ensiling fermentation products and aerobic stability of corn and sorghum silages. Grassland Science, 57:1-5.

Wilkinson, J., & Davies, D. 2012. The aerobic stability of silage: Key finding and recent developments. Grass and Forage Science, 68:1-19.

Zhu, Y., Bai, C., Guo, X., Xue, Y., & Ataku, K. 2011. Nutritive value of corn silage in mixture with vine peas. Animal Production Science, 51:1117-1122.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

ALOMETRÍA DIGESTIVA EN POLLOS SUPLEMENTADOS CON HARINA DE ORÉGANO COMO PROMOTOR DE CRECIMIENTO

DIGESTIVE ALLOMETRY IN BROILERS SUPPLEMENTED WITH OREGANO FLOUR AS A GROWTH PROMOTER

Juan Tenías Campos[1], Mayra Alfaro Escalona[1], Magalys Rivas Nichorzon[1], Liseth Cárdenas Ramírez[1] y Ramón Silva-Acuña[2]

[1]Universidad de Oriente, Escuela de Zootecnia, *Campus* Los Guaritos, Maturín, Monagas, Venezuela
[2]Universidad de Oriente, Escuela de Ingeniería Agronómica, Postgrado de Agricultura Tropical, *Campus* Juanico, Maturín, Venezuela

E-mail: drramonsilvaa@gmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
06/10/2021

Aceptado:
15/06/2022

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
13(1):16-25

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i1.310

Resumen

El objetivo del ensayo consistió en evaluar el peso relativo de diferentes órganos y cambios alométricos del tracto gastrointestinal de pollos de engorde, suplementados con harina de hojas de orégano (HO) como promotor de crecimiento, en proporciones de mezcla con el alimento balanceado (AB). A los 21 días de la fase de inicio y a los 42 días de engorde se cuantificó el peso del proventrículo, la molleja, el duodeno, el yeyuno y el íleon; así como también, se determinaron sus respectivos coeficientes alométricos; además, del intestino delgado completo. Se empleó el diseño experimental completamente al azar, con un total de 208 pollitos de la línea Ross distribuidos en cuatro tratamientos: T_1= 100% de alimento balanceado (AB100%); T_2= Alimento balanceado+0,25% de harina de orégano (AB+0,25%HO); T_3= Alimento balanceado+0,50% de harina de orégano (AB+0,50%HO) y T_4= Alimento balanceado+0,75% de harina de orégano (AB+0,75%HO), con cuatro repeticiones, cada unidad experimental constituida por 13 aves. Se realizó análisis de varianza a las variables cuantificadas y los valores promedios se compararon por Tukey a 5% de probabilidad. La concentración de 0,25%, de HO en combinación con el AB, favoreció los valores obtenidos para los pesos relativos a los 21 y 42 días del duodeno, yeyuno, íleon, así como también para el intestino delgado completo. Todos los órganos presentaron lento crecimiento alométrico (CA<1) en relación al peso corporal en la fase de inicio y engorde, exceptuando el proventrículo, que mostró crecimiento mayor (CA>1).

Palabras clave: Origanum vulgare, crecimiento alométrico, fitogénico, aves de corral.

Abstract

The objective of the trial was to evaluate the relative weight of different organs and allometric changes of the gastrointestinal tract of broilers, supplemented with oregano leaf meal (HO) as a growth promoter, in mixing proportions with the balanced feed (AB). At 21 days of the starter phase and 42 days of fattening, the weight of the proventriculus, gizzard, duodenum, jejunum and ileum was quantified; as well as, their respective allometric coefficients were determined; in addition, the entire small intestine. A completely randomized experimental design was used, with a total of 208 Ross line chicks distributed in four treatments: T1= 100% balanced feed (AB100%); T2= Balanced feed+0.25% oregano flour (AB+0.25%HO); T3= Balanced feed+0.50% oregano flour (AB+0.50%HO) and T4= Balanced feed+0.75% oregano flour (AB+0.75%HO), with four repetitions, each experimental unit constituted by 13 birds. An analysis of variance was performed on the quantified variables and the average values were compared by Tukey at 5% probability. The concentration of 0.25% HO in combination with BA favored the values obtained for the relative weights at 21 and 42 days of the duodenum, jejunum, ileum, as well as for the entire small intestine. All organs showed slow allometric growth (CA<1) in relation to body weight in the initial and fattening phase, except for the proventriculus, which showed greater growth (CA>1).

Keywords: Origanum vulgare, allometric growth, phytogenic, poultry.

INTRODUCCIÓN

El sector avícola venezolano trabaja estrechamente con los procesadores de alimentos balanceados a través de la integración vertical en la industria; 77% de la producción nacional de alimentos balanceados se destina al sector avícola, 17% a la porcicultura, 5% al sector bovino y 1% a otros sectores. Debido a la insuficiencia en la producción nacional de granos y otras materias primas, este sector depende de las importaciones de estos productos para sus operaciones (Álvarez, 2012).

La industria avícola en general se ha caracterizado por ser una de las ramas del sector pecuario con mayor crecimiento por su bajo costo de producción; representa la proteína de origen animal con mayor aceptación a nivel mundial. Con el incremento de la población y su necesidad de consumir productos ricos en proteínas, varios países en vías de desarrollo han cambiado su forma de producción tradicional por una más industrializada. Entre estos cambios sobresale el uso de alimentos balanceados más especializados en cada etapa de desarrollo, la mejora genética y control sanitario para que el avicultor tenga mayor rendimiento sobre su trabajo (Evans, 2016).

El pollo de engorde debe alimentarse para ganar peso en el menor tiempo posible; así como también, buena conversión y eficiencia alimenticia y alta supervivencia en este proceso, de tal manera que al relacionar estos resultados permitan buena rentabilidad del negocio avícola (González *et al*., 1999). En el pasado esos alimentos poseían promotores de crecimiento; la OMS (2017) los define como "sustancias distintas de los nutrimentos de la ración que aumentan el ritmo de crecimiento y mejoran el índice de conversión de los animales sanos y correctamente alimentados".

Entre los promotores de crecimiento (APC), se utilizaron antibióticos como aditivos en el alimento en concentraciones subterapéuticas, los cuales aumentan el rendimiento y la productividad de los animales a través del control de bacterias patógenas (Lee *et al*., 2003; Ortisi, 2008); aunque, por la creciente preocupación de los consumidores sobre el posible traslado de la resistencia antibiótica a los patógenos causantes de enfermedades humanas, fueron prohibidos (Ayala *et al*., 2006).

Las prohibiciones fueron posibles, a pesar de carecer de evidencia científica que lo justificara, debido al uso del "principio precautorio" establecido en las leyes que norman a la Unión Europea y que expresamente indica que el uso de un producto –sea el que fuera– puede prohibirse si se "percibe" que su uso pudiera generar problemas de salud pública o animal, o un problema ambiental (Lara *et al*., 2010).

Es por ello que las principales alternativas para el uso de promotores de crecimiento que han sido investigadas incluyen los probióticos, enzimas, acidificantes –ácidos orgánicos e inorgánicos–, y extractos vegetales, como el orégano (Betancourt, 2012; Martínez y Vílchez, 2016). Las formas de utilización del orégano en la producción animal son diversas, una de ellas lo constituye la extracción de su aceite esencial, esta forma se ha incrementado considerablemente, demostrando la actividad biológica de sus componentes con muy buenos resultados (Divriese *et al*., 1993); de manera similar, Tenias *et al*. (2021), Pujada *et al*. (2019) y Chang *et al*. (2017) señalan que otra forma de aplicación ha sido la obtención de harina de orégano a partir de hojas secadas y molidas en bajos niveles de inclusión.

González *et al*. (1999) indican que para valorar el desarrollo del sistema digestivo de un animal se tienen diferentes métodos: (1) Sistemas zoométricos, relacionados con las medidas externas del animal; (2) Sistemas de sacrificio o disecación que incluyen estudios internos del animal una vez que este haya muerto y (3) Sistemas matemáticos que relacionan el desarrollo total del animal con el desarrollo de cada parte de este. Es muy importante para valorar las piezas y al animal en general. Dos conceptos son claves para establecer los crecimientos de los distintos órganos: (1) Isomería: relacionada al aumento del tamaño en los diferentes órganos o tejidos del animal en la misma proporción y (2) Alometría: que corresponde a los cambios que se producen en determinadas partes del organismo pero que se dan en diferente proporción a la generalidad de todos los órganos que lo configuran (Gayon, 2000).

El primer autor que se ocupó de estudiar el crecimiento y desarrollo desde un punto de vista zootécnico fue J. Hammond en 1932, quien evaluó no sólo el aumento de peso o volumen, sino también los cambios de forma que se van produciendo a medida que los animales crecen (Morrison y Boyd, 1990). El crecimiento se puede definir como el aumento irreversible de volumen o peso, Hammond (1960) lo define como "el aumento de peso del animal hasta que alcanza el tamaño adulto". En tanto que el desarrollo conlleva cambios de forma y la adquisición de nuevas funciones. Para Hammond (1960) el desarrollo es la "modificación de la conformación corporal del animal, en tanto que sus diversas funciones y facultades alcanzan la plenitud".

Por tanto, González *et al*. (1999), aclaran que el crecimiento es meramente cuantitativo, mientras que el desarrollo es un proceso cualitativo y cuantitativo. El crecimiento alométrico indica la proporción en que crece un órgano con relación al peso corporal total, desde un momento determinado hasta cierta edad en particular (Gayon, 2000). La toma de datos alométricos, determina la longitud y peso del tracto gastrointestinal –TGI–, entre mayor longitud, mayor será el tiempo de tránsito, creando un excelente ambiente para la actividad microbiana

intestinal, al permanecer el alimento más tiempo en el aparato digestivo, se incrementa el peso y longitud de sus partes, especialmente el caso del intestino delgado (Nir, 1993; Alagawany *et al.,* 2018).

En estudios realizados por Hernández (2004), con orégano, canela y pimienta, en dieta para pollos, no encontraron diferencias significativas en el peso del duodeno de los animales tratados frente a los animales control. Nir (1993), afirma que el crecimiento proporcional –alométrico– del yeyuno alcanza su máximo a los cinco días de edad del ave. Nitsan (1991), indica que el extraordinario crecimiento puede estar asociado a la adaptación del alimento.

En función de los anteriores planteamientos, la presente investigación tiene por objetivo evaluar el peso relativo de diferentes órganos y cambios alométricos del tracto gastrointestinal de pollos de engorde de la línea Ross, utilizando harina de hojas de orégano como promotor de crecimiento, en proporciones de mezcla con el alimento balanceado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del ensayo

El presente ensayo se realizó en una granja comercial ubicada en la localidad de Tácata, municipio Cedeño, estado Monagas. En las coordenadas geográficas 9º 63' 77" LN y 63º 67' 13" LO, a la altitud de 124 m, con temperatura promedio de 27ºC, humedad relativa de 63% y precipitación promedio anual de 1298 mm (Climate-Data.org, 2020).

El orégano y su preparación

El material vegetal de orégano, se obtuvo de un Jardín Botánico ubicado en la localidad de Temblador, municipio Libertador, estado Monagas, en las coordenadas geográficas de 9º 00' 26" LN y 62º 38' 32" LO. El follaje se cortó con tijeras de podar y tijeras comunes; se secó al sol sobre un plástico negro por 72 horas y posteriormente fue molido en un triturador de granos marca GENPAR, modelo GGG-121-HH, Venezuela, en la regulación fina, con el objetivo de lograr su mezcla homogénea con el alimento balanceado. El orégano molido se almacenó en envases de vidrio sellados.

Acondicionamiento del galpón para la recepción

Previo a la llegada de los pollitos bebé a la granja, se realizaron las divisiones e identificaciones para los tratamientos, utilizando pisos plásticos para bovinos, de 100 cm de largo por 60 cm de ancho. Se colocó la cama de cascarilla de arroz y se instalaron bebederos que contenían agua más hidratante comercial para disminuir el estrés en la recepción; además, del alimento iniciador en comederos manuales. Se utilizó una criadora a gas Marca Gasolec M8, modelo GA-801351, como fuente de calor durante los primeros días de vida de los pollitos. El consumo de agua fue *ad libitum* durante todo el ensayo, utilizando bebederos manuales.

Manejos sanitarios de las aves

Las aves se recibieron vacunadas contra la enfermedad de Marek desde la planta incubadora. El manejo sanitario preventivo consistió en una serie de medidas aplicadas a diferentes días de edad, a partir de su recepción, que consideraron la aplicación de las vacunas obligatorias de la zona. Entre los 1 y 3 días, recibieron electrolitos en la dosis de 1L.1000 mL^{-1} de agua; al octavo y 16 día, se les aplicó la primera y segunda dosis, respectivamente, contra New Castle –Cepa La Sota– y Gumboro, mediante aspersión. A los 10 días y entre los 22 y 24 días de edad, se les ofreció tilosina en dosis de 250 g.1000mL^{-1} de agua. Entre los 11 y 13 días, recibieron polivitamínico en la dosis de 1L.1000 mL^{-1} de agua y vinagre a razón de 1L.1000 mL^{-1} a los 21 días de edad.

Variables cuantificadas

Los coeficientes de alometría de cada parte del organismo poseen valores según la edad y peso vivo del animal (Nir, 1993). Las mediciones se hicieron al término de la fase de iniciación –21 días– y de engorde –42 días– para los análisis alométricos, registrándose el peso de cada órgano en gramos y la longitud del tracto intestinal en centímetros en cuatro aves, seleccionadas al azar, sacrificadas por dislocación cervical y trasladadas a una sala contigua al galpón de cría, en condiciones de asepsia, habilitada para el escaldado y la disección de los pollos. Se empleó guantes, pinzas quirúrgicas, bisturí, bandejas de aluminio, balanza analítica y cinta métrica.

A cada una de las aves sacrificadas, se le separó el proventrículo, la molleja, el duodeno, el yeyuno y el íleon. La separación de los segmentos intestinales, se realizó de acuerdo con los siguientes cortes: el duodeno, desde el final de la molleja, hasta el final del conducto pancreático y biliar; el yeyuno, desde el final del duodeno, hasta el divertículo de Meckel; y el íleon, desde el divertículo de Meckel, hasta el comienzo de la división de los ciegos.

Cada uno de los órganos retirados fue separado por ave muestreada y tipo de tratamiento. Se realizó un lavado, tanto interno como externo, para retirar residuos de alimento o de excretas que pudieran alterar el peso neto del órgano y así afectar el peso corporal. Posteriormente se pesó uno a uno los fragmentos del sistema gastrointestinal para ser registrado. La ecuación (1) se empleó para determinar el peso relativo (PR) de los diferentes órganos gastrointestinales fue la siguiente:

PR= (Peso órgano/Peso vivo del animal) x 100 (1)

Para la evaluación del crecimiento alométrico (CA), se utilizó la ecuación (2) propuesta por Fisher (1984):

$$CA= (O_n/O_h) / (PC_n/PC_h) \quad (2)$$

Dónde:

O= Peso del órgano

n= Días después del nacimiento

h= Peso al nacimiento

PC= Peso corporal

Tratamientos evaluados, diseño experimental y análisis estadístico

Los componentes para los cuatro tratamientos fueron el alimento balanceado (AB) y la harina de hojas de orégano (HO), donde T_1= 100% de alimento balanceado (AB100%) o tratamiento testigo; T_2= Alimento balanceado+0,25% de harina de orégano (AB+0,25%HO); T_3= Alimento balanceado+0,50% de harina de orégano (AB+0,50%HO); y T_4= Alimento balanceado+0,75% de harina de orégano (AB+0,75%HO).

Por kilogramo de la mezcla AB + HO, tanto para el alimento iniciador como de engorde, las proporciones de mezclas corresponden a: 997,5+2,5; 995+5 y 992,5+7,5 gramos para los tratamientos T_2, T_3 y T_4, respectivamente. Se empleó una balanza digital Gramera de precisión, marca Tanita, para el pesaje de la cantidad de orégano en las diferentes dietas alimenticias y un peso digital portátil de gancho –50 kg–, marca Weiheng, para registrar los diferentes pesos de los pollos. El proceso de mezcla del AB y la HO se efectuó en un galpón completamente limpio, utilizando una cortina de polietileno desinfectada como base, para luego remover de forma manual los dos componentes, hasta lograr la homogenización total.

Se emplearon 208 pollos de la línea Ross, de un día de edad; distribuidos en cuatro tratamientos de 52 animales, en el diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones de 13, que constituyen la unidad experimental. Para realizar la investigación se utilizó 24 m^2 del área de un galpón de 2250 m^2, siendo la densidad de 13 pollos por m^2.

Previo a realizar el análisis de varianza (ANAVA) las variables cuantificadas tanto a los 21 días de la fase de inicio y a los 42 días de engorde, correspondientes al peso (g) del proventrículo, la molleja; al duodeno, el yeyuno e íleon, el intestino delgado completo; así como también, los respectivos coeficientes alométricos, se exploraron por la prueba de Shapiro-Wilk para corroborar la normalidad de los errores y la prueba de Bartlett para la homogeneidad de varianza y comparados por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad. El análisis estadístico se realizó con el programa InfoStat Versión 2018 (Di Rienzo *et al.,* 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso relativo del sistema digestivo

Proventrículo

Se constató diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$), al término de la fase de inicio –21 días–. La comparación de los tratamientos por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad indica que el tratamiento AB+0,25%HO presentó el mayor peso relativo con 1,39%, comportándose estadísticamente similar con el tratamiento testigo AB100% (1,26%) y diferente al tratamiento AB+0,50%HO y AB+0,75%HO –con pesos de 1,23% y 1,19%, respectivamente–. Al término de la fase de engorde –42 días– no se detectó diferencias entre los tratamientos; no obstante, se aprecia mayor peso relativo en el tratamiento AB+0,25%HO con 0,84% (Cuadro 1).

En estudios realizados por Sanz *et al.* (2016), no observaron diferencias significativas del peso relativo del proventrículo a los 42 días, cuando se comparó la inclusión de la leguminosa tropical, poroto comuna –*Stizolobium deeringianum*– como promotor de crecimiento en pollos de engorde contra el control –0,45% y 0,5%, respectivamente–. Por otro lado, Martínez *et al*. (2012), comparando el efecto nutracéutico del *Anacardium occidentale* en dietas para pollitas ponedoras de reemplazo, notaron diferencias significativas entre los tratamientos sobre el peso absoluto del proventrículo a los 35 días de edad. A tempranas edades el peso relativo del proventrículo es superior, alcanzando su máximo entre los seis y siete días de edad (Martínez, 2012). Por tal razón los mayores resultados en el presente estudio, se lograron al término de la fase de cría (21 días).

Cuadro 1. Peso relativo del proventrículo en pollos de engorde utilizando harina de hojas de orégano (HO) como promotor de crecimiento, en proporciones de mezcla con el alimento balanceado (AB).

Día	Tratamientos				ANAVA[1]	
	AB100%	AB+0,25%HO	AB+0,50%HO	AB+0,75%HO	Probabilidad	CV (%)
21	1,26^{ab}	1,39^{a}	1,23^{b}	1,19^{b}	0,0047	5,07
42	0,77^{a}	0,84^{a}	0,79^{a}	0,68^{a}	0,1966	12,53

Valores promedios seguidos por letras distintas en la fila son estadísticamente diferentes por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad; [1]ANAVA= Análisis de varianza.

Molleja

No se detectaron diferencias significativas para los pesos relativos del estómago muscular a los 21 días de edad; sin embargo, a los 42 días, se observó diferencias entre los tratamientos con la inclusión de diferentes proporciones de harina de orégano. Los mayores pesos relativos a los 42 días de edad, correspondieron a para los tratamientos AB100%; AB+0,50%HO y AB+0,75%HO –de 2,87%, 2,91% y 2,83%, respectivamente– comportándose similares entre sí. El menor valor lo presentó el tratamiento AB+0,25%HO con 2,68% y diferente estadísticamente de los tratamientos AB100% y AB+0,50%HO (Cuadro 2).

Resultados similares fueron obtenidos por Chávez *et al*. (2016), donde encontraron diferencias significativas en el peso relativo de la molleja a los 42 días, cuando se comparó un alimento balanceado comercial más antibiótico contra un alimento balanceado comercial más prebióticos –*Lactobacillus casei, Lactobacillus acidophilus o Enterococcus faecium*– con rendimientos de 2,02% y 2,47% respectivamente (Svichus, 2011).

De igual manera, pesos absolutos y relativos de la molleja, obtenidos por Reyes *et al*. (2014) a los 42 días de edad en pollos de engorde alimentados con 0,10% de un derivado de paredes celulares de levadura –*Saccharomyces cerevisiae*– en la dieta fueron estadísticamente superiores al control. Concluyendo que la utilización de aditivos funcionales terapéuticos es capaz de propiciar mayor aprovechamiento de los nutrimentos presentes en el alimento, contribuyendo al mejoramiento en los indicadores productivos de las aves.

Cuadro 2. Peso relativo de la molleja en pollos de engorde utilizando harina de hojas de orégano (HO) como promotor de crecimiento, en proporciones de mezcla con el alimento balanceado (AB).

Día	Tratamientos				ANAVA[1]	
	AB100%	AB+0,25%HO	AB+0,50%HO	AB+0,75%HO	Probabilidad	CV (%)
21	3,61[a]	3,66[a]	3,57[a]	3,56 [a]	0,9226	6,52
42	2,87[a]	2,68[b]	2,91[a]	2,83[ab]	0,0090	2,94

Valores promedios seguidos por letras distintas en la fila son estadísticamente diferentes por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad; [1]ANAVA= Análisis de varianza.

Según Svihus (2011), cuando se añaden a la dieta componentes que mejoran la disponibilidad de nutrimentos, como en este caso un fitogénico, se estimula el crecimiento y desarrollo de molleja y el proventrículo en comparación a otros órganos. Estos hallazgos están de acuerdo con los resultados encontrados en esta investigación, donde la molleja, presentó el mayor crecimiento durante los días 21 y 42 en comparación con el resto de los órganos.

Duodeno

Se observaron diferencias significativas a los 21 y 42 días para peso relativo en el duodeno. Al término de las dos fases –inicio y engorde– el mayor peso relativo lo presentó el tratamiento AB+0,25%HO con 0,88% y 0,73%. A los 21 días el menor peso fue para el tratamiento testigo AB100% (0,68%) y AB+0,75%HO (0,69%) ambos fueron similares estadísticamente; mientras que el tratamiento AB+0,50%HO presentó un valor intermedio (0,72%). A los 42 días los menores pesos estuvieron asociados a los tratamientos AB100%, AB+0,50%HO y AB+0,75%HO –entre 0,58%, 0,63% y 0,61% respectivamente–, similares entre si estadísticamente (Cuadro 3).

Jaramillo (2011) observó diferencias significativas para el peso absoluto, a los 22 días del duodeno en pollos de engorde, donde el tratamiento control obtuvo el peso más bajo, comparado con el tratamiento experimental que contenía en la dieta diferentes mezclas de aditivos –prebióticos y ácidos orgánicos– como promotores de crecimiento. Concluyó además que a partir del día ocho se ve una variación marcada de un menor crecimiento del duodeno respecto a los siguientes días 16 y 22.

Cuadro 3. Peso relativo del duodeno en pollos de engorde utilizando harina de hojas de orégano (HO) como promotor de crecimiento, en proporciones de mezcla con el alimento balanceado (AB).

Día	Tratamientos				ANAVA[1]	
	AB100%	AB+0,25%HO	AB+0,50%HO	AB+0,75%HO	Probabilidad	CV (%)
21	0,68[c]	0,88[a]	0,72[b]	0,69[c]	0,0001	1,39
42	0,58[b]	0,73[a]	0,63[b]	0,61[b]	0,0009	5,84

Valores promedios seguidos por letras distintas en la fila son estadísticamente diferentes por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad; [1]ANAVA= Análisis de varianza.

En estudios realizados por Hernández *et al*. (2004), con aceites esenciales de orégano, canela y pimienta, en dieta para pollos, no se encontraron diferencias significativas en el peso del duodeno de los animales tratados frente a los animales control.

Yeyuno

Para el día 21 –fase de inicio–, el tratamiento AB+0,25%HO presentó el mayor peso relativo con 1,29%, comportándose similar estadísticamente al AB+0,50%HO con 1,20% y diferente de los tratamientos AB100% y AB+0,75%HO con los menores pesos relativos de 1,17% y 1,16%, respectivamente. A los 42 días no se detectó diferencias entre los tratamientos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Peso relativo del yeyuno en pollos de engorde utilizando harina de hojas de orégano (HO) como promotor de crecimiento, en proporciones de mezcla con el alimento balanceado (AB).

Día	Tratamientos				ANAVA[1]	
	AB100%	AB+0,25%HO	AB+0,50%HO	AB+0,75%HO	Probabilidad	CV (%)
21	1,17[b]	1,29[a]	1,20[ab]	1,16[b]	0,0211	4,57
42	1,06[a]	1,12[a]	0,98[a]	0,98[a]	0,0525	6,84

Valores promedios seguidos por letras distintas en la fila son estadísticamente diferentes por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad; [1]ANAVA= Análisis de varianza.

Con respecto al yeyuno, Regina *et al*. (2011), encontraron el mayor peso relativo de este órgano a los 42 días en el tratamiento con prebiótico en la dieta cuando se comparó con un antimicrobiano; no obstante, ninguno de los aditivos presentó diferencias con relación al testigo. Concluyendo que no fue posible observar efecto benéfico alguno de los aditivos mejoradores del rendimiento sobre el peso de las diferentes partes del intestino de los pollos de engorde a los 42 días de edad.

Por otro lado, pesos absolutos obtenidos por Jaramillo (2012), de los diferentes órganos mostraron diferencias significativas a 5% de probabilidad para el yeyuno, siendo menores para el tratamiento control comparado con los tratamientos que recibieron los aditivos terapéuticos durante los días 8, 14 y 22.

Íleon

Se observó que el tratamiento AB+0,25%HO logró el mayor peso relativo para el íleon a los 21 días de edad, con diferencias significativas cuando comparado con los demás tratamientos AB100%, AB+0,50%HO y AB+0,75%HO –entre 1,16%, 1,19% y 1,19% respectivamente– que se comportaron similares estadísticamente. Por otro lado, a los 42 días, también hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos, siendo que los tratamientos AB+0,25%HO, AB+0,50%HO y AB+0,75%HO presentaron los mayores pesos relativos de 1,29%, 1,29% y 1,26% respectivamente, similares entre sí; por otro lado, el menor peso del íleon estuvo asociado al tratamiento testigo AB100% con 1,04% y diferente de todos los anteriores (Cuadro 5).

Cuadro 5. Peso relativo del íleon en pollos de engorde utilizando harina de hojas de orégano (HO) como promotor de crecimiento, en proporciones de mezcla con el alimento balanceado (AB).

Día	Tratamientos				ANAVA[1]	
	AB100%	AB+0,25%HO	AB+0,50%HO	AB+0,75%HO	Probabilidad	CV (%)
21	1,16[b]	1,31[a]	1,19[b]	1,19[b]	0,0001	1,94
42	1,04[b]	1,29[a]	1,29[a]	1,26[a]	0,0015	6,36

Valores promedios seguidos por letras distintas en la fila son estadísticamente diferentes por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad; [1]ANAVA= Análisis de varianza.

En un estudio realizado por Jaramillo (2011), el peso absoluto del íleon, permitió obtener diferencias significativas al octavo día de edad de los pollos, siendo menor en el control con respecto al resto de tratamientos –mezcla de prebióticos y ácidos orgánicos–. La diferencia de peso entre el control y el que obtuvo el más alto peso –prebiótico– fue de 5,96%, mientras que la diferencia entre éste último y el antibiótico fue de 3,98% con diferencias significativas. Estas tendencias se mantuvieron durante el día 15 y 22.

Intestino delgado completo (IDC)

El IDC presentó diferencias significativas para el peso relativo a los 21 días. El tratamiento AB+0,25%HO obtuvo el mejor resultado, con 3,48%, comparado con los demás tratamientos que fueron similares entre sí. Así mismo, a los 42 días, el mayor peso relativo lo logró el tratamiento AB+0,25%HO (3,14%), aunque para este caso, estadísticamente por la prueba de Tukey hubo similitud entre los tratamientos AB+0,50%HO y AB+0,75%HO (2,90% y 2,86%) y diferencias significativas en relación al tratamiento testigo AB100% (2,68%) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Peso relativo del intestino delgado completo en pollos de engorde utilizando harina de hojas de orégano (HO) como promotor de crecimiento, en proporciones de mezcla con el alimento balanceado (AB).

Día	Tratamientos				ANAVA[1]	
	AB100%	AB+0,25%HO	AB+0,50%HO	AB+0,75%HO	Probabilidad	CV (%)
21	3,02[b]	3,48[a]	3,10[b]	3,04[b]	0,0001	2,47
42	2,68[b]	3,14[a]	2,90[ab]	2,86[ab]	0,0134	5,63

Valores promedios seguidos por letras distintas en la fila son estadísticamente diferentes por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad; [1]ANAVA= Análisis de varianza.

Chávez *et al.* (2016), observaron que durante la primera semana de vida del ave se da un rápido crecimiento de los órganos, entre ellos el intestino delgado, coincidiendo con lo reportado por Cuervo *et al.* (2002), donde el peso relativo de órganos digestivos como intestino, hígado, páncreas, molleja y proventrículo se incrementan significativamente durante la primera semana de vida, lo que conlleva al aumento de los procesos digestivos, y por ende, en el comportamiento productivo del ave durante toda su fase.

Lilja (1983), explica que después del nacimiento de los pollitos, la mucosa del intestino delgado sufre varios cambios importantes, pero en la segunda semana ocurre la máxima migración celular. Exactamente en este periodo de tiempo ocurre el mayor crecimiento proporcional del yeyuno, siendo de gran importancia porque reduce algunos problemas como la ascitis.

Los aumentos de peso relativos del intestino de las aves se relacionan con el incremento en la viscosidad digestiva, movilidad intestinal reducida y aumento de la actividad microbiana que estimula el crecimiento del tejido intestinal y por ende la ganancia de peso, por mayor absorción de nutrimentos (Brenes *et al*., 2002; Brenes y Roura, 2010). Lo anteriormente dicho confirma los resultados obtenidos en el presente ensayo, donde el tratamiento que obtuvo el mayor peso relativo del intestino, logró la mayor ganancia peso.

Crecimiento alométrico del sistema digestivo

La toma de datos alométricos, determina la longitud y peso del tracto gastrointestinal (TGI). Entre mayor longitud, mayor será el tiempo de tránsito, creando un excelente ambiente para la actividad microbiana intestinal. Al permanecer el alimento más tiempo en el aparato digestivo, se incrementa el peso y longitud de sus partes, especialmente el caso del intestino delgado (Brenes *et al*., 1993).

Se observa (Cuadro 7) que la variable crecimiento alométrico (CA) presentó diferencias significativas entre los tratamientos en el íleon e intestino delgado completo (IDC) a los 21 días. En el íleon, los tratamientos AB+0,25%HO, AB+0,50%HO y AB+0,75%HO lograron los mayores valores de CA –entre 0,57, 0,52 y 0,58, respectivamente–, y difieren del tratamiento AB100% que presentó el menor valor –0,50– y similar a los tratamientos AB+0,50%HO. El tratamiento AB+0,75%HO presentó el valor más elevado. El IDC, mostró un comportamiento estadístico idéntico al íleon, donde el mayor valor le correspondió al tratamiento AB+0,25%HO y el menor al tratamiento AB100%.

Para los órganos proventrículo, molleja, duodeno y yeyuno no se encontraron diferencias en ninguno de los tratamientos para la variable crecimiento alométrico –CA– a los 21 días. Todos los órganos presentaron crecimiento lento –CA<1– en relación al peso corporal, exceptuando el proventrículo en los tratamientos AB100%, AB+0,25%HO y AB+0,75%HO que mostraron crecimiento relativamente mayor con relación al peso corporal –CA>1–; no obstante, en el tratamiento AB+0,50%HO el crecimiento fue isométrico (CA=1) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Coeficientes de crecimiento alométrico de órganos en la fase de cría a los 21 días en pollos de engorde utilizando harina de hojas de orégano (HO) como promotor de crecimiento, en proporciones de mezcla con el alimento balanceado (AB).

Órgano	Tratamientos				ANAVA[1]	
	AB100%	AB+0,25%HO	AB+0,50%HO	AB+0,75%HO	Probabilidad	CV (%)
Proventrículo	1,01[a]	1,13[a]	1,00[a]	1,01[a]	0,6009	14,82
Molleja	0,48[a]	0,49[a]	0,55[a]	0,54[a]	0,0714	8,27
Duodeno	0,50[a]	0,61[a]	0,57[a]	0,59[a]	0,0800	10,22
Yeyuno	0,49[a]	0,57[a]	0,51[a]	0,52[a]	0,0556	7,15
Íleon	0,50[b]	0,57[a]	0,52[ab]	0,58[a]	0,0050	4,97
IDC[2]	0,49[b]	0,58[a]	0,53[ab]	0,56[a]	0,0020	4,77

Valores promedios seguidos por letras distintas en la fila son estadísticamente diferentes por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad; [1]ANAVA= Análisis de varianza; 2IDC=Intestino delgado completo.

El proventrículo, la molleja, el duodeno no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos para la variable CA.

Para la etapa de engorde –42 días– el crecimiento alométrico (CA) de la molleja, en los tratamientos AB+0,50%HO, AB+0,75%HO y AB100%, fueron similares estadísticamente –0,45 y 0,43– por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad, distintos al CA del tratamiento AB+0,25%HO (0,36) con el menor CA (Cuadro 8).

Cuadro 8. Coeficientes de crecimiento alométrico de órganos durante la fase de engorde a los 42 días en pollos utilizando harina de hojas de orégano (HO) como promotor de crecimiento, en proporciones de mezcla con el alimento balanceado (AB).

Órgano	Tratamientos				ANAVA[1]	
	AB100%	AB+0,25%HO	AB+0,50%HO	AB+0,75%HO	Probabilidad	CV (%)
Proventrículo	0,63[a]	0,68[a]	0,65[a]	0,57[a]	0,6068	17,23
Molleja	0,38[bc]	0,36[c]	0,45[a]	0,43[ab]	0,0017	6,88
Duodeno	0,42[a]	0,51[a]	0,50[a]	0,52[a]	0,1769	12,99
Yeyuno	0,44[ab]	0,50[a]	0,42[b]	0,44[ab]	0,0252	7,15
Íleon	0,45[b]	0,56[a]	0,56[a]	0,61[a]	0,0006	7,21
IDC[2]	0,44[b]	0,52[a]	0,49[ab]	0,52[a]	0,0040	6,04

Valores promedios seguidos por letras distintas en la fila son estadísticamente diferentes por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad; [1]ANAVA= Análisis de varianza; [2]IDC=Intestino delgado completo.

Para el yeyuno, (Cuadro 8) el tratamiento AB+0,25%HO (0,50) difiere del tratamiento AB+0,50%HO; mientras que no hubo diferencias con los tratamientos AB100% y AB+0,75%HO –0,44 y 0,44, respectivamente–. Para el íleon los mayores CA se obtuvieron en los tratamientos AB+0,25%HO, AB+0,50%HO y AB+0,75%HO –0,56, 0,56 y 0,61, respectivamente–, sin diferencia entre ellos; mientras que el AB100% logró el menor resultado de CA (0,45).

Finalmente, el crecimiento alométrico el IDC logró mejor valor de CA en los tratamientos AB+0,25%HO y AB+0,75%HO –0,52 y 0,52, respectivamente–, mientras que los tratamientos AB100% y AB+0,50%HO no difieren entre sí, con los menores valores del CA para la variable intestino delgado. Todos los órganos presentaron lento crecimiento –CA<1– con relación al peso corporal a los 42 días de edad (Cuadro 8).

Jaramillo (2012), encontró que las constantes de crecimiento alométrico del yeyuno presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) al día ocho, que mostraron menor crecimiento con respecto al peso vivo en el tratamiento control con 1,52 comparado con los otros tratamientos que contenían promotores de crecimiento en la dieta con 1,80; además, observó que la dinámica de crecimiento alométrico del yeyuno presenta pendiente negativa, que indica mayor crecimiento de este órgano con respecto al peso vivo, con valores mayores a uno desde el día ocho hasta el día 22 de edad de los pollos. Para el duodeno y molleja el crecimiento fue lento –CA<1–, lo que concuerda con el presente estudio.

Berti (2003), afirma que el intestino llega a su máximo desarrollo entre los tres a siete días de edad, para posteriormente declinar rápidamente. Es por ello, seguramente, que no se encontró crecimientos alométricos mayores a uno de este órgano a los 21 y 42 días de estudio. De igual manera, Lilja (1983), explica que el intestino delgado es un órgano de oferta, y que, durante el periodo de crecimiento, disminuye su peso para dar prioridad a órganos de demanda, como los músculos.

Cuervo *et al*. (2002), encontraron diferencias estadísticas en el crecimiento alométrico del intestino delgado a los 14 y 21 días de edad de los pollos, entre el control con el menor crecimiento, comparado con diferentes tratamientos, a los que se suministraba un suplemento nutricional hidratado. Rahmani y Speer (2005) indican que el mayor crecimiento de las diferentes partes del intestino puede estar relacionado con la acción de los distintos aditivos sobre la morfología intestinal, sobre todo, en el crecimiento de las vellosidades intestinales.

Medina *et al*. (2015), evaluando la adición de levaduras en la dieta sobre las relaciones alométricas de los diferentes órganos del sistema digestivo de pollos de engorde machos, no encontraron diferencias significativas entre tratamientos a los 14, 21 y 42 días de edad; además, observaron que las mediciones alométricas disminuyeron en todos los tratamientos a medida que la edad de los animales aumentaba. Obedeciendo a que la tasa de crecimiento de los órganos intestinales es menor a la tasa de crecimiento corporal de las aves.

Pulgarín (2015), utilizando distintos niveles de glicerol como fuente de energía en dietas para pollos de engorde, encontró que el coeficiente alométrico del intestino delgado completo durante las diferentes semanas evaluadas fue disminuyendo a medida que crecían las aves, sin encontrarse diferencias estadísticas. El crecimiento alométrico fue superior hasta el día 21 lo que

indica mayor crecimiento de este órgano en comparación al peso del ave, mientras que al día 42 fue inferior. Lo que concuerda con este estudio, ya que el intestino no logró crecer más que el peso vivo a los 21 y 42 días.

Pulgarín (2015), encontró además que el crecimiento alométrico de la molleja fue inferior a uno durante las diferentes etapas evaluadas –7, 14, 21 y 42 días–, lo que determina menor crecimiento de este órgano en relación al peso del pollo, ratificando lo expuesto en el presente ensayo.

CONCLUSIONES

La concentración de 0,25%, de la harina de hojas de orégano en combinación con el alimento balanceado, favoreció los valores obtenidos para los pesos relativos a los 21 y 42 días del duodeno, yeyuno, íleon así como también para el intestino delgado completo.

Todos los órganos presentaron crecimiento lento –CA<1– con relación al peso corporal en la fase de inicio y engorde, exceptuando el proventrículo, que mostró crecimiento mayor –CA>1– en relación al peso corporal en los pollos de 42 días de edad.

LITERATURA CITADA

Álvarez J.2012. Manejo para disminuir la mortalidad en pollos de engorde. Rev. Cub. Cie. Agri. 2(1):125-132.

Alagawany M, El-Hack MEA, Farag MR, Shaheen HM, Abdel-Latif MA, Noreldin AE, Patra AK. 2018. The usefulness of oregano and its derivatives in poultry nutrition. Word Poult. Sci. J., 74(3): 463–474.

Ayala L, Martínez L, Acosta A, Dieppa O, Hernández L.2006. Una nota acerca del efecto del orégano como aditivo en el comportamiento productivo de pollos de ceba. Rev. Cub. Cienc. Agríc. 40(4):455-458.

Berti J. 2003. Efeito de diferentes carboidratos na ração preinicial de frangos de corte no desempenho e na alometría dos órgãos. Universidad de San Pablo, Facultad de Ciencia Animal y Pastos [Tese de Mestrado em Agronomia], 76 p.

Betancourt LL. 2012. Evaluación de aceites esenciales de orégano en la dieta de pollos de engorde. Tesis Doctoral. Bogotá: Univ. Nacional de Colombia. 157 p.

Brenes A, Smith M, Guenter W, Marquardt R. 1993. Effect of enzyme supplementation on the performance and digestive organ size of broiler chickens fed wheat and barley based diets. Poult. Sci. 72:1731-1739.

Brenes A, Marquardt R, Guenter W, Viveros A. 2002. Effect of enzyme addition on the performance and gastrointestinal tract size of chicks fed lupin seed and their factions. Poult. Sci. 81(5):670-678.

Brenes A, Roura E. 2010. Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action. Anim. Feed Sci Tech., 158(1): 1-14.

Chang S, Xian R, Myong H, Jing W, Hai J, Shu G, Bontempo V, Guang H. 2017. Effect of dietary oregano powder supplementation on the growth performance, antioxidant status and meat quality of broiler chicks. Ital. J. Anim. Sci. 16(2):246-252.

Chávez L, López A, Parra J. 2016. Crecimiento y desarrollo intestinal de aves de engorde alimentadas con cepas probióticas. Arch. Zootec. 65(249):51-58.

CLIMATE-DATA.ORG. 2020. DATOS CLIMÁTICOS MUNDIALES (en línea). Consultado 10 ene. 2021 Disponible en:https://es.climate-data.org/

Cuervo M, Gómez C, Romero H. 2002. Efecto de la utilización de un suplemento nutricional hidratado en pollos de engorde recién nacidos. Rev. Colomb. Cienc. Pec. 15(3):319-329.

Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; González, I.; Tablada, E.; Díaz, M.; Robledo, C.; Balzarini, M. 2018. InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: http://www.infostat.com.ar.

Divriese L, Daube G, Hommez J, Haesebrouck F. 1993. *In vitro* susceptibility of *Clostridium perfringens* isolated from farm animals to growth enhancing antibiotics. J. Appl. Microbiol. 75(1): 55-57.

Evans T. 2016. Tendencias Avícolas Mundiales 2016: América representa el 44 por ciento de la producción mundial de pollo. Colombia. Disponible en línea en: http://www.elsitioavicola.com/articles/2866/tendencias-avacolas-mundiales-2016(Acceso 25.03.2017).

Gayon J. 2000. History of the concept of allometry. American. Zoologist. 40(4): 748-758.

González G, Salado S, García M. 1999. Uso de aditivos como mejoradores de la calidad de las dietas para monogástricos: enzimas y acidificantes. Encuentro sobre Nutrición y Producción de Animales Monogástricos: Memorias. Maracay, Venezuela, pp. 6-11.

Hammond J. 1960. Farm animals. Edward Arnold Publ. Ltd., London, England, pp. 29-32.

Hernández F, Madrid J, García V, Orenjo J, Megías M. 2004. Influencia de tres extractos de plantas en el rendimiento de los pollos de engorde, digestibilidad y tamaño del órgano digestivo. Poult. Sci. 83(2):169-174.

Jaramillo A. 2011. Evaluación de la mezcla de un prebiótico y un ácido orgánico en la salud intestinal y parámetros productivos de pollos de engorde. Ibagué: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias [Maestría en Ciencias Agrarias Línea de Investigación Producción Animal Tropical], 225 p.

Jaramillo A. 2012. Evaluación de la mezcla de un ácido orgánico y un prebiótico en los parámetros productivos y alométricos de pollos de engorde con alimentación controlada. Rev. Colombiana de Ciencia Animal. 5(1):52-66.

Lara P, Itzá M, Aguilar E, Sanginés J. 2010. Harinas de hojas de plantas aromáticas como fitoterapéuticos en pollos de engorda. Pesq. Agropec. Bras. 45(3):294-298.

Lilja C. 1983. A comparative study of postnatal growth and organ development in some species of birds. Growth 47(4):317-339.

Martínez Y, Martínez O, Olmos E, Siza S, Betancur C. 2012. Efecto nutracéutico del *Anacardium occidentale* en dietas de pollitas ponedoras de reemplazo. Rev. MVZ Córdoba. 17(3):3125-3132.

Martínez D, Vílchez C. 2016. Oregano essential oil improves nutrient absorption capacity in healthy broilers. Poult Sci 95(Suppl. 1): 217.

Medina N, González C, Matute G, Barahona R. 2015. Morfología intestinal en pollos de engorde con o sin suministro de biomasa de levaduras de la producción de etanol combustible. Zoot. Trop. 32(2):107-116.

Morrison T, Boyd R.1990. Química Orgánica. Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington, Estados Unidos, pp.102-109.

Nir I.1993. La estructura de la comunidad bacteriana en los intestinos de los pollos recién nacidos. Poult. Sci. 73: 781-791.

Nitsan, Z.1991. Peso relativo del TGI en pollos de engorde. Poult. Sci. 6(1):15-22.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2017. Lista OMS de antimicrobianos de importancia crítica para la medicina humana (Lista OMS de AIC) Disponible en línea en: https://www.who.int/foodsafety/publications/cia2017es.pdf (Acceso 11.05.2020).

Ortisi F. 2008. Breve revisión sobre promotores de crecimiento. Costa Rica. Disponible en línea en: http://docplayer.es/342832-Breve-revision-sobre-promotores-de-crecimiento.html(Acceso 15.04.2017).

Pujada A. H, Vega-Vilca J, Velásquez V. C, Palacios-Rodríguez B. 2019. Niveles de orégano (*Origanum vulgare*) en la dieta y su influencia en el rendimiento productivo del pollo de engorde. Rev Inv Vet Perú 2019; 30(3):1077-1082.

Pulgarín D. 2015. Evaluación de parámetros productivos utilizando tres niveles crecientes de glicerol en dietas para pollos de engorde. Cundinamarca: Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias [Disertación Grado Ingeniero en Zootecnia], 63 p.

Rahmani H. y Speer W. 2005. Natural additives influence the performance and humoral immunity of broilers. J. Poul. Sci. 4(9):713-717.

Regina. F, Fernandes A, Méndez A, Milbrabt E, Martins B. 2011. Morfometría de la mucosa del duodeno en pollos de engorde suplementados con mejoradores del desempeño. XXII Congreso Latinoamericano de Avicultura, Brasil.

Reyes N, Piad R, González H, Ríos M. 2014. Rendimiento de la canal y morfometría del tracto gastrointestinal de broilers suplementados con pared celular de levadura. Rev. La Calera. 14(22):33-37.

Sanz, P, Revidatti F, Fernández R, Sindik M, Laffont G. 2016. Desarrollo del aparato digestivo en pollos Campero INTA alimentados con poroto mucuna (*Stizolobium deeringianum*). Rev Vet. 27(2):107-112.

Svichus, B. 2011. La molleja: influencia de la estructura de la dieta y efectos sobre la disponibilidad de nutrientes. Word Poultry Sci. J. 67:1-11.

Tenias-Campos, J., Alfaro-Escalona M., Rivas-Nichorzon M, Cárdenas-Ramírez, L. y Silva-Acuña, R. 2021. Características productivas en pollos de engorde utilizando harina de orégano como promotor de crecimiento. Revista ESPAMCIENCIA12(2):107-115.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

ACTIVIDAD *in vitro* DE *Bacillus subtilis* Y *Lactobacillus brevis* PARA REDUCIR LA COLONIZACIÓN DE Salmonella entérica

In vitro ACTIVITY OF *Bacillus subtilis* AND *Lactobacillus brevis* TO REDUCE COLONIZATION OF *Salmonella entérica*

Lilian Fuentes-Osorio[1], Fátima Arteaga-Chávez[1], Ernesto Antonio Hurtado[1], Ana Julia Rondón Castillo[2], Marlen Rodríguez Oliva[2]

[1]Carrera de Medicina Veterinaria, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria Manuel Félix López, Ecuador
[2]Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Matanzas, Cuba

Email: fatima.arteaga@espam.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
06/12/2021

Aceptado:
28/06/2022

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
13(1):26-31

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i1.309

Resumen

Se determinó la actividad *in vitro* de microorganismos autóctonos (*Lactobacillus brevis*, *Bacillus subtilis* y la mezcla de ambos) para reducir la colonización de *Salmonella entérica in vitro*. Se utilizó un DCA con arreglo factorial (3x3) siendo los factores los microorganismos y métodos de difusión (directo, filtrado y diluido) en la inhibición del enfrentamiento de microorganismos, con el uso de la técnica Kirby-Bauer. La supervivencia en sales biliares realizada por el conteo de UFC, bajo un diseño que contó con cuatro tratamientos. Los microorganismos con aplicación de tres métodos frente a *Salmonella entérica* tuvieron un crecimiento favorable a las 24 horas, obteniendo un mayor desarrollo con *Lactobacillus brevis + Bacillus subtilis* por método de filtración. La supervivencia a sales biliares, no se encontró variabilidad de resultados. Sin embargo, el *L. brevis* sin sales biliares se destacó desde el minuto 30 hasta el minuto 120. Se concluye que ambos microorganismos cumplen con características físicas y biológicas, siendo alternativas idóneas para ser utilizados como probióticos en alimentación animal con fines en la producción animal.

Palabras clave: Probióticos, sales biliares, halos de inhibición.

Abstract

The in vitro activity of indigenous microorganisms (*Lactobacillus brevis*, *Bacillus subtilis* and the mixture of both) to reduce the colonization of Salmonella enterica in vitro was determined. A DCA with factorial arrangement (3x3) was used, being the factors the microorganisms and diffusion methods (direct, filtered and diluted) in the inhibition of the confrontation of microorganisms, with the use of the Kirby-Bauer technique. Survival in bile salts performed by the CFU count, under a design that had four treatments. The microorganisms with the application of three methods against *Salmonella enterica* had a favorable growth at 24 hours, obtaining a greater development with *Lactobacillus brevis + Bacillus subtilis* by filtration method. Survival to bile salts, no variability of results was found. However, L. brevis without bile salts stood out from minute 30 to minute 120. It is concluded that both microorganisms meet physical and biological characteristics, being suitable alternatives to be used as probiotics in animal feed for animal production purposes.

Keywords: Probiotics, bile salts, inhibition halos.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe Bacterias mayor conciencia en cuanto a los efectos nocivos por el uso excesivo de antibióticos, lo que ha creado un interés en los probióticos debido a sus beneficios sobre la microbióta intestinal (Yadav *et al*., 2020); no obstante, las enfermedades gastrointestinales son muy frecuentes en estos tiempos, principalmente por el consumo de alimentos, como leche y grasa. Además, ocasionadas por la presencia de bacterias, parásitos y virus. Hernández *et al*. (2013) mencionan que estas originan uno de los principales problemas de salud pública en el Ecuador, dado que, se transmiten por vía fecal-oral, o bien por el consumo de

agua y alimentos contaminados. Es importante destacar que, Agrocalidad (2013) reporta actualmente el sector pecuario del país no cuenta con ningún programa oficial para el control, prevención y peor aún la erradicación de las principales enfermedades que afectan a los animales.

El excesivo y abusivo uso de los antibióticos ha dado lugar a un doble problema que puede tener consecuencias nefastas para la salud de los consumidores: la resistencia a los antibióticos y la presencia de residuos de antibióticos en los alimentos. Por ello, el uso de probióticos parece ser una alternativa adecuada para superar estos problemas por su capacidad de modular el sistema inmunitario y la microflora intestinal, y considerando además su papel antagónico frente a ciertas bacterias patógenas y su capacidad para desempeñar el papel de factor de crecimiento (a veces asociado con prebióticos) cuando se utilizan como aditivos para piensos (Arsène *et al*., 2021) y calidad de la carne (Al-Shawi *et al*., 2020).

García *et al*. (2014) indican que los probióticos deben reunir las siguientes características: no ser sensibles a las enzimas gastrointestinales, ser estables frente a ácidos y bilis, no conjugarse con sales biliares, poseer capacidad para adherirse a las superficies epiteliales, sobrevivir en el ecosistema intestinal, producir sustancias antimicrobianas y tener capacidad de crecimiento rápido en las condiciones del intestino grueso.

Se han realizado investigaciones *in vitro* sobre la actividad antagonista de los probióticos frente a cepas patógenas; los cuales antes de ser usados deben pasar por un proceso de selección en los que se consideran varios aspectos incluyendo características funcionales como: viabilidad, persistencia en el tracto intestinal, inmunomodulación y propiedades antagonistas; estas características de funcionalidad se establecen en los laboratorios con pruebas in vitro (González *et al*., 2016).

La trazabilidad y residuos de fármacos en los productos de tipo animal, significan un problema en la industria animal; donde gracias al uso de probióticos como *B. subtilis* se han podido reducir estos remanentes y poder propiciar un microbiota intestinal adecuada y poder estimular la inmunidad del animal y el control de bacterias patógenas como *Escherichia coli* y *Salmonella entérica* (Yate, 2019). Mientras que Tobón *et al*. (2020) señalan la existencia de numerosos investigadores que han informado de la capacidad de las bacterias del ácido láctico para producir sustancias antimicrobianas activas contra ciertos organismos patógenos y de descomposición en varios ecosistemas, lo que resulta en un cambio de la población bacteriana en su microambiente.

Ante lo expuesto, se planteó el presente trabajo cuyo objetivo fue evaluar la actividad *in vitro* de microorganismos autóctonos (*Bacillus subtilis* y *Lactobacillus brevis*) para reducir la colonización de *Salmonella entérica*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El desarrollo de esta investigación se efectuó en la Unidad de Docencia, Investigación y Vinculación del Laboratorio de Biología Molecular de la Carrera de Medicina Veterinaria perteneciente a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López" ubicada en el sitio El Limón en la ciudad de Calceta, Manabí, Ecuador.

Manejo de las cepas de microorganismos a nivel de laboratorio

Con cepas provenientes del laboratorio de Biología Molecular, se prepararon medios de cultivo en Caldo MRS (Titanium), Caldo Nutriente (DifcoTM) y Caldo Selenito para la inoculación *Bacillus subtilis* (20BP), *Lactobacillus brevis* (40 LP), y *Salmonella entérica* (ATCC 13076), respectivamente. Con la finalidad de evitar un shock térmico, las cepas fueron retiradas previamente del congelador -20ºC y colocadas en refrigeradora a 4ºC.

La crioconservación de las cepas de *B. subtilis* y *L. brevis*, se realizó bajo centrifugación (1000 rpm/min) de 2 mL reactivadas en tubo de microcentrífuga (Eppendorf), se eliminó el sobrenadante y se dejó el ingrediente activado posterior un lavado, posteriormente se lavó con 1 mL de agua Peptonada al 0.1% en cada Eppendorf, nuevamente se centrifugó con el retiro del sobrenadante. En la cepa *L. brevis* se colocó 1000 μl de glicerol al (3%) y 500 μl de leche semidescremada, mientras que *B. subtilis* se colocó glicerol al 3%; ambas fueron conservados en un congelador a -20°C.

Inhibición en el enfrentamiento de microorganismos benéficos *B. subtilis, L. brevis* y la mezcla (*B. subtilis* + *L. brevis*) frente a *Salmonella entérica* en los distintos métodos

Se utilizó el método de difusión directo, que consistió en transferir a partir del inoculo de *Salmonella entérica* 1 mL diluciones seriadas en base 10 (10^{-1} a 10^{-8}). A partir de la dilución 10^{-7} y 10^{-8} se tomó 1mL de *Salmonella entérica* y se la colocó en Agar (Mueller Hinton y MRS) y con el asa de Drigalsky se dispersó por toda la caja Petri, dejando reposar por 10 minutos. Posteriormente, se realizaron los pocillos (perforaciones) sobre la superficie de los agares con ayuda de sorbete de plástico estéril de aproximadamente 6 mm de diámetro, y en cada uno de los pocillos se vertieron 100 μL de *L. brevis*, en otros pocillos 100 μL de *B. subtilis*; asimismo, en un mismo pocillo se inoculó 50 μL de *L. brevis* + 50 μL de *B. subtilis*.

Para la aplicación del método de difusión filtrado, se colocó 1 mL de *salmonella entérica* en los agares (Mueller Hinton y MRS), se hicieron los pocillos sobre la superficie de los agares, a través del sorbete de plástico de 6 mm de diámetro, aproximadamente, previamente esterilizado. Para la obtención de los extractos bacterianos (*B. subtilis* y *L. brevis*), se aplicó 1 mL de la cepa reactivada (*L. brevis*) en Eppendorf, cada inóculo fue centrifugado a 6.000 rpm durante 5min. Después de centrifugar se filtró el sobrenadante con filtro bacteriológico Millipore® de 0,2 µm y una jeringa descartable de 5 mL, posteriormente se colocó los extractos de cada cepa en vasos de precipitación de 10 mL; por último, se inoculó el extracto en el pocillo correspondiente y se dejó reposar por 10 minutos y se incubó a 37ºC por un de tiempo de 24 horas, después de este tiempo se hizo la lectura de las placas por test Kirby Bauer.

La puesta en práctica del método de difusión diluido, se basó en el empleó 1 mL de *S. entérica* en los agares: Mueller Hinton y MRS, con la realización de los pocillos sobre la superficie de los agares con ayuda de sorbete de plástico estéril de aproximadamente 6 mm de diámetro. La dilución con solución salina (0,85 g de NaCl en 100 mL de agua destilada estéril) a partir de los inóculos de (*L. brevis* y *B. subtilis*) se tomó1 mL y se procedió a realizar diluciones seriadas (10^{-1} a 10^{-4}), una vez realizado esto, se tomó la última dilución y se la adicionó en el pocillo correspondiente. Se dejó reposar por 10 minutos y se incubó a 37ºC en condiciones anaerobias por un de tiempo de 24 horas, después de este tiempo se hizo la lectura de las placas por test Kirby Bauer.

Los halos de inhibición fueron medidos con una regla milimétrica, partiendo desde el pocillo de los microorganismos bajo estudio, hasta donde se inhibe el crecimiento. Para categorizar los niveles de susceptibilidad de los microorganismos frente al patógeno, se tomó en cuenta la siguiente categoría interpretativa: Sensible (un halo con una buena probabilidad de éxito, ≥21 mm); Intermedio (un halo de inhibición más reducido, 16 mm- 20 mm) y Resistente (Presenta muy poco o casi nada de halo, <15 mm).

Supervivencia de *B. subtilis* y *L. brevis* en sales biliares

Se plaqueó 12 mL de Agar MRS (*L. brevis*) Agar Nutriente (*B. subtilis*) a las cajas Petri ((90 x 14 mm), se coloca 1,5 mL de Sales Biliares (5%) en Caldo MRS y Caldo Nutriente; en tubos falcon de 15 mL se inoculó 5 mL de *L. brevis* previamente centrifugando a 600rpm por 5 minutos, se eliminó el sobrenadante y se colocó 5 mL de solución salina y se vuelve a centrifugar 600 rpm por 5 minutos una vez centrifugado se eliminó el sobrenadante y se colocó 3 mL de caldo MRS y se homogenizó el vortex. Se inoculó en 15 tubos con 3 repeticiones por minuto (minuto 0, minutos 30, minutos 60, minutos 90, minutos 120 minutos) y se colocó en la incubadora a 37ºC. Una vez cumplido el tiempo esperado se realizaron diluciones desde 10^{-1} hasta la dilución 10^{-7}, se procedió a sembrar en las cajas. Se incubó a 37 °C durante 48 horas y se midió el crecimiento celular mediante unidades formadoras de colonias (UFC), a intervalos por minutos (minutos 0, minutos 30, minutos 60, minutos 90, minutos 120).

Diseño experimental y análisis estadístico

Para el estudio de la inhibición en el enfrentamiento de microorganismos benéficos frente a *S. entérica*, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3x3, siendo los factores los microorganismos (*L. brevis*; *B. subtilis* y mezcla) métodos de difusión (directo, filtrado y diluido) y cuatro repeticiones. Mientras que, para la supervivencia en sales biliares realizada por el conteo de UFC, se organizó en un diseño factorial 2x2, contando con cuatro tratamientos y 12 repeticiones.

La variabilidad de la respuesta medible por el efecto de los factores fue analizada mediante un análisis de varianza, para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 5%. Los análisis fueron realizados con el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al*., 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inhibición en el enfrentamiento de microorganismos benéficos frente a *S. entérica*

El análisis de varianza realizado en la inhibición del enfrentamiento de microorganismos benéficos frente a *S. entérica* mediante diferentes métodos de difusión, presentó con un efecto altamente significativo (P<0,0001) en la interacción microorganismos x métodos. Se puede apreciar en el cuadro 1 que las bacterias (*B. subtilis* + *L. brevis)* presentaron un mayor desarrollo del halo inhibitorio, mediante el método de difusión de filtración y *L. brevis* por método directo, con promedios de 29,33 (± 2,70) y 22,00 ± (2,70) mm, respectivamente (P<0,05).

Cuadro 1. Promedios de halos inhibitorios con la aplicación de diferentes métodos de infusión en cepas de *B. subtilis*, *L.brevis* y *L. brevis* + *B. subtilis* frente a *S.entérica*.

Microorganismos	Métodos	Promedios (mm)
Lactobacillus brevis	Directo	22,00^{ab}
	Filtración	13,67^{c}
	Dilución	17,33^{bc}
Bacillus subtilis	Directo	18,00^{bc}
	Filtración	18,00^{bc}
	Dilución	18,33^{bc}
Lactobacillus brevis + *Bacillus subtilis*	Directo	17,33^{bc}
	Filtración	29, 33^{a}
	Dilución	17,67^{bc}
EE	2,70	
P-valor	0,0001	

^{a,b,c} Letras superíndices distintas en la columna difieren estadísticamente según Tukey (P<0,05).

Los resultados obtenidos en la presente investigación se muestran similares a los obtenidos por Vélez *et al*. (2015) donde expone que las bacterias ácido lácticas (BAL) formaron halos inhibitorios que mostraron la susceptibilidad al crecimiento de cepas de *Salmonella tiphymurium*, por la observación de zonas claras sin crecimiento de colonias de la bacteria patógena.

Al respecto, Fernández *et al*. (2014) afirman que las investigaciones orientadas al enfrentamiento de patógenos con BAL, el 44% de estas actúan mediante bacteriocinas que enfrentan patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella spp*., entre otros. Lo que conlleva considerar a los *Bacillus* y *Lactobacillus* como una alternativa natural.

con base en los hallazgos de Rebolledo *et al*. (2013), la actividad antagónica de cepas de *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus johnsonii* mediante método de dilución y directo frente a *Streptococcus mutans*, resultó ser no significativa (P>0,05). Sin embargo, se obtuvo una mayor capacidad inhibitoria en ambos métodos con el *L. casei*. Mientras que, Divyashree *et al*. (2021) reportaron actividad antimicrobiana de las cepas Lactobacillus casei–MYSRD 108 y Lactobacillus plantarum-MYSRD 71 contra *Salmonella paratyphi*. De la misma manera Castañeda y Consuelo (2016) afirman que en evaluaciones realizadas a *B. subtilis* encontraron que la capacidad antagónica es mayor que en otras cepas de *Bacillus*.

Evaluación de la supervivencia de cepas de *B. subtilis* y *L. brevis* en sales biliares

La supervivencia de las cepas de *B. subtilis* y *L. brevis* en sales biliares a distintos tiempos se presenta en el cuadro 2. Se observa que no hubo diferencias estadísticas en el minuto cero (0). Aun cuando, se aprecian diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) desde el minuto 30 hasta el minuto 120. Se destaca desde el momento de incubación hasta el minuto 90, que la cepa de *L. brevis* (con ausencia de sales biliares) obtuvo un mejor desarrollo que el *B. subtilis* (con y sin aplicación de sales biliares); aunque, en el minuto 120 el *L. brevis* con presencia de sales biliares, presenta un mayor desarrollo

Cuadro 2. Promedios de supervivencia de cepas (UFC) de *B. subtilis* y *L. brevis* en sales biliares a distintos tiempos (0 a 120 minutos) con tomas directas.

Microorganismos	Sales Biliares	Minutos				
		0	30	60	90	120
Lactobacillus brevis	Presencia	613, 33^{a}	926, 67^{a}	881,67^{ab}	659,00^{ab}	498, 67^{a}
	Ausencia	664, 33^{a}	971,00^{a}	983, 67^{a}	693,00^{ab}	439,67^{ab}
Bacillus subtilis	Presencia	608, 33^{a}	513,67^{c}	773,67^{bc}	513,00^{b}	379,33^{ab}
	Ausencia	626, 67^{a}	801,00^{b}	764,33^{c}	617,33^{ab}	325,00^{b}
EE		±20,76	±23,46	±25,43	±36,41	±29,39
P-Valor		0,4541	0,008	0,00600	0,03624	0,009387

^{a,b,c} Letras superíndices distintas en la columna difieren estadísticamente según Tukey (P<0,05).

Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos por Milián *et al*. (2014) quienes en estudios realizados en cepas de *Bacillus*, mostraron diferencias estadísticas (P<0,05) presentando una capacidad alta, media y nula para sobrevivir al efecto de las sales biliares, teniendo esta un mayor crecimiento que las demás cepas por lo que deducen que es evidente que algunas cepas de *Bacillus* spp. puedan ser susceptibles, entre 20 y 25 %, a los fluidos biliares simulados.

Desde el punto de vista de Yegani (2010) y Aguavil (2012) citados en Arteaga *et al*. (2017) las cepas de *Bacillus* spp. provenientes del tracto gastrointestinal de pollos Broiler Ross-308, tienen un buen potencial probiótico en aves con excelentes resultados. Asimismo, mencionan que una gran cantidad de las cepas estudiadas mostraron una mayor capacidad de resistencia a esta barrera gástrica, esto indica la ventaja que presentan estos microorganismos de soportar pH ácidos y descargas biliares en su paso a través del tracto gastrointestinal de los animales (Pérez *et al*., 2011).

En efecto, Vera *et al*. (2018) exponen que la implementación de simulaciones de jugo gástrico artificial (sales biliares) a cepas evaluadas de *Lactobacillus plantarum* presentaron un desarrollo y resistencia favorable hasta el minuto 90, donde se obtuvo una variabilidad de 4,20 - 5,17 log UFC/mL, debido a las condiciones extremas a las que fueron sometidas. Además, afirman que la resistencia a sales biliares se debe a que son resistentes a estas condiciones de jugo gástrico artificial, pudiendo atravesar la barrera fisiológica del tracto digestivo donde sus condiciones presentan pH bajos y la acción de enzimas proteolíticas, en este caso la pepsina.

En este sentido, Singh *et al*. (2020) concluyen que el *L. brevis* mostró la mayoría de las propiedades probióticas, como 10% de tolerancia al cloruro de sodio, 1% de tolerancia a la bilis, crecimiento en pH 2, y actividad antimicrobiana contra *E. coli, S. aureus, K. pneumoniae y P. aeruginosa*.

La investigación realizada ratifica algunas características manifestadas por Ruiz *et al*. (2021) que refieren en *B. subtilis*, la efectividad de su uso como probiótico, principalmente debido a su probada actividad antimicrobiana, antiinflamatoria, antioxidante, enzimática e inmunomoduladora.

CONCLUSIONES

B. subtilis y *L. brevis* se concluye que ambos microorganismos cumplen con tipologías físicas y biológicas, siendo alternativas idóneas para ser utilizados como probióticos en alimentación animal con fines en la producción animal.

LITERATURA CITADA

Agrocalidad. 2013. Programa Nacional Sanitario Avícola. Dirección de Sanidad Animal. (En línea). https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/a1.pdf

Al-Shawi, S. G., Dang, D. S., Yousif, A. Y., Al-Younis, Z. K., Najm, T. A., and Matarneh, S. K. 2020. The potential use of probiotics to improve animal health, efficiency, and meat quality: A Review. Agriculture, 10(10): 452.

Arsène, M. M., Davares, A. K., Andreevna, S. L., Vladimirovich, E. A., Carime, B. Z., Marouf, R., and Khelifi, I. 2021. The use of probiotics in animal feeding for safe production and as potential alternatives to antibiotics. Veterinary World, 14(2): 319.

Arteaga, F., López, M., Laurencio, M., Rondón, A., Milian, G., Barrios, V., Bocourt, R. 2017. Selección e identificación de aislados de *Bacillus spp*. del tracto digestivo de pollos de traspatio, con potencial probiótico. Bolívar, EC. Pastos y Forrajes. 40(1): 55-64.

Castañeda, E. y Consuelo, L. 2016. Evaluación del crecimiento de cuatro especies del género *Bacillus sp*., primer paso para entender su efecto biocontrolador sobre *Fusarium sp*. Bogotá, CO. NOVA. 13(26):53-65.

Di Rienzo, J., Casanoves, F., González, I., Tablada, E., Díaz, M., Robledo, C., Balzarini, M. 2020. InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: http://www.infostat.com.ar.

Divyashree, S., Anjali, P. G., Somashekaraiah, R., and Sreenivasa, M. Y. 2021. Probiotic properties of *Lactobacillus casei*–MYSRD 108 and *Lactobacillus plantarum*-MYSRD 71 with potential antimicrobial activity against *Salmonella paratyphi*. Biotechnology Reports, 32, e00672.

Fernández, K., Chanci, I., Wilches, L., Cardona, J. 2014. Caracterización de los metabolitos de Bacterias Ácido Lácticas y efecto inhibidor de las bacteriocinas en microorganismos patógenos en alimentos: revisión sistemática de la literatura, 2008-2012. Medellín, CO. Biosalud. 13(1):45-61.

García, Y., García, Y., Bocourt, R. 2014. Instituto de Ciencia Animal de la Habana. Departamento de Ciencias Biofísicas. Los probióticos como alimento funcional. (En línea). http://albeitar.portalveterinaria.com/

González, T., González, A., Guerrero, I., Zamudio, M. 2016. Evaluación de la actividad probiótica in vitro de bacterias ácido lácticas aisladas de sustratos nativos del estado de Yucatán. https://smbb.mx/congresos%20smbb/puertovallarta03/TRABAJOS/AREA_VI/CARTEL/CVI-24.pdf

Hernández, C., Aguilera, M., Castro, G. 2011. Situación de las enfermedades gastrointestinales. Enfermedades Infecciosas y Microbiología. 31 (4):137-151.

Milián, G., Rondón, A., Pérez, M., Samaniego, L., Riaño, J., Bocourt, R., Ranilla, M., Carro, M., Rodríguez, M., Laurencio, M. 2014. Aislamiento e identificación de *Bacillus spp*. en diferentes ecosistemas con fines probióticos. Su utilización en animales. Matanzas, CU. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 48 (4):347-351.

Pérez, M., Laurencio, M., Rondón, A., Milian, G., Bocourt, R., Arteaga, F. 2011. Actividad antimicrobiana de una mezcla probiótica de exclusión competitiva y su estabilidad en el tiempo. Matanzas, CU. Rev. Salud Anim. 33(3): 147-153.

Rebolledo, M., Rojas, E., Salgado, F. 2013. Efecto de Dos Probióticos que Contienen Cepas de *Lactobacillus casei* variedad *rhamnosus* y *Lactobacillus johnsonii* sobre el Crecimiento in Vitro de *Streptococcus mutans*. Concepción, CL. Revista Int. J. Odontostomat. 7(3):415 -419.

Ruiz Sella, S. R., Bueno, T., de Oliveira, A. A., Karp, S. G., and Soccol, C. R. 2021. *Bacillus subtilis natto* as a potential probiotic in animal nutrition. Critical Reviews in Biotechnology. 41(3):355-369.

Singh, V., Ganger, S., and Patil, S. 2020. Characterization of *Lactobacillus brevis* with

potential probiotic properties and biofilm inhibition against *Pseudomonas aeruginosa*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings, 66(1):14.

Tobón, M., Perdomo, N., Cedeño, M. 2020. Estudio sobre la Actividad Antimicrobiana de los Sobrenadantes del Cultivo de *Lactobacillus*. Acta Microscópica, 29(5):2718-2723.

Vélez, J., Gutiérrez, L., Montoya, O. 2015. Evaluación de la actividad bactericida de Bacterias Ácido Lácticas aisladas en calostro de cerdas frente a *Salmonella typhimurium*. Medellín, CO. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 68 (1): 7481- 7486.

Vera-Mejía, R., Ormaza-Donoso, J., Muñoz-Cedeño, J., Arteaga-Chávez, F., Sánchez-Miranda, L. 2018. Cepas de *Lactobacillus plantarum* con potencialidades probióticas aisladas de cerdos criollos. Revista de Salud Animal, 40(2).

Yadav, M., Mandeep., and Shukla, P. 2020. Probiotics of diverse origin and their therapeutic applications: a review. Journal of the American College of Nutrition, 39(5):469-479.

Yate Patiño, A. F. 2019. Beneficios del uso de priobióticos como suplemento en la nutrición de pollos de engorde y sus efectos en la reducción de enteritis por salmonella. https://n9.cl/645ox

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

ELABORACIÓN DE UN SNACK SALADO EXTRUIDO EXPANDIDO A BASE DE CHOCHO (*Lupinus mutabilis*) Y MAÍZ

PREPARATION OF AN EXPANDED EXTRUDED SALTY SNACK BASED ON LUPS (*Lupinus mutabilis*) AND CORN

Stalin Gustavo Santacruz Terán[1,2], Cristina Daniela Cadena Maldonado[2], Santiago Xavier Yánez Sotomayor[2]

[1]Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, vía San Mateo s/n, Manta, Ecuador
[2]Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador

Correo: stalin.santacruz@gmail.com

Información del articulo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
22/11/2021

Aceptado:
21/06/2022

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
13(1):32-38

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i1.223

Resumen

Los snacks son alimentos que pueden ser consumidos en lugar de, o entre comidas. Son convenientes porque están listos para su consumo. La utilización de una mezcla cereal-leguminosa (gritz de maíz y chocho) le da al producto un balance de aminoácidos que mejora su valor nutritivo. El objetivo del trabajo fue elaborar un snack de sal expandido listo para su consumo, hecho a base de gritz de maíz y chocho desamargado mediante el proceso de extrusión. Se estudiaron dos factores, el diámetro de orificio de los dados (4 y 5 mm) y la composición de la mezcla chocho-maíz (80% de maíz - 20% de chocho y 75% de maíz - 25% de chocho). La mezcla de 25% de chocho y 75% de maíz, extruida con dados de diámetro de orificio de 4 mm, permitió obtener extruidos con la menor densidad aparente, el mayor contenido de proteína y la menor humedad, teniendo además una buena aceptación entre los potenciales consumidores.

Palabras clave: extruido, densidad aparente, proteína, cereal, leguminosa

Abstract

Snacks are foods that can be eaten instead of, or between meals. They are convenient because they are ready for consumption. The use of a cereal-legume mixture (corn gritz and chocho) gives the product a balance of amino acids that improves its nutritional value. The objective of the work was to prepare an expanded salty snack ready for consumption, made from corn gritz and debittered lupine through the extrusion process. Two factors were studied, the hole diameter of the dice (4 and 5 mm) and the composition of the lupine-maize mixture (80% maize - 20% lupine and 75% maize - 25% lupine). The mixture of 25% lupine and 75% corn, extruded with dice with a hole diameter of 4 mm, made it possible to obtain extrudates with the lowest apparent density, the highest protein content and the lowest humidity, also having a good acceptance among potential consumers.

Keywords: extruded, bulk density, protein, cereal, legume.

INTRODUCCIÓN

Los snacks son alimentos convenientes porque están listos para su consumo, pudiendo ser una importante fuente de nutrientes y energía, particularmente para los sectores de la sociedad cuya dieta puede ser deficiente en estos nutrientes (FAO, 2019). Algunos de los snacks que se encuentran en el mercado son elaborados mediante el proceso de extrusión, el cual consiste en el moldeado de una sustancia plástica mediante tratamiento por calor y

fuerzas de corte y fricción mecánicas. Este proceso combina operaciones unitarias como el mezclado, la cocción y el moldeo. Su empleo más extendido es en el tratamiento de materias primas agrícolas, principalmente cereales (Singh *et al*., 2007). La tecnología de la extrusión proporciona varias ventajas sobre los métodos tradicionales de procesado de alimentos porque permite obtener productos con diferentes formas, texturas, colores y apariencias, todas ellas obtenidas mediante pequeños cambios en el equipo y en las condiciones de procesado. Además, hay un mejoramiento en la calidad del producto sobre otros procesos debido a que la cocción se realiza en un tiempo muy corto y tiene lugar una menor destrucción de los ingredientes sensibles al calor (Singh *et al*., 2007). Para obtener extruidos expandidos, generalmente, la combinación de ingredientes contiene altos niveles de almidón, componente que maximiza la expansión del producto final. Niveles totales de almidón de 60% o menos, podría resultar en una menor expansión del producto final. Una buena cocción durante la extrusión está definida por la combinación de temperatura, tiempo de residencia y contenido de humedad, entre otros, que permiten la gelatinización del almidón y desnaturalización de las proteínas. El producto viscoelástico que se forma durante el proceso es moldeado al pasar por dados que le dan una forma específica y finalmente son expandidos debido a un diferencial de presión al salir del extrusor. Los productos, una vez expandidos, son sazonados con sal y/o varias especies, empacados y vendidos como productos listos para el consumo (Huang y Zhang, 2012).

El chocho (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa que crece en Los Andes y ha sido utilizada por la población andina desde tiempos ancestrales. El chocho es importante por su alto contenido de proteína (28-41% b.s.) y lípidos (14-24% b.s.) (Tomczak *et al*., 2018). Como todas las leguminosas, el chocho es rico en lisina y deficiente en metionina. Conociendo que los cereales son deficientes en lisina y ricos en metionina, la ingesta de mezclas de cereales y leguminosas da como resultado una proteína de alto valor biológico, con todos los aminoácidos esenciales, similar a las de origen animal. Cereales andinos como la quinua, el maíz, el amaranto han cobrado importancia en los últimos años por sus características nutricionales.

A pesar de los beneficios nutricionales del chocho y del maíz, su consumo en el Ecuador se limita a formas tradicionales de consumo como es el caso del chocho con tostado y ceviche de chocho. Esto podría deberse al necesario desamargado del chocho o a la poca oferta de nuevos productos (Gutiérrez *et al*., 2016). El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ha incentivado el consumo de chocho mediante la publicación de una amplia variedad de recetas que lo incluyen como uno de los ingredientes.

Con estos antecedentes, la elaboración de un extruido expandido a base de una mezcla chocho y maíz pretende obtener un producto tipo snack de sal listo para el consumo. El snack será evaluado en cuanto a su densidad aparente granel, contenido de proteína, humedad y aceptabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los gritz de maíz se obtuvieron de la empresa PRODEMSA, mientras que el chocho desamargado se obtuvo de la empresa Super Chocho, ambas ubicadas en la ciudad de Quito.

Análisis proximal

Los extruidos fueron analizados con base en métodos del AOAC (AOAC, 2019). El contenido de proteína (990.03), utilizando 6,25 como factor de conversión. La humedad mediante secado en una estufa (Fisher Scientific, U.S.A.) a 105 °C hasta alcanzar un peso constante (930.15). La grasa por extracción con éter de petróleo con ayuda de un equipo Soxhlet (Figmay, Argentina) de acuerdo al método 920.39. Las cenizas por incineración en mufla a 550 °C (942.05). La fibra dietética total de acuerdo al método 991.43, mediante una digestión de las proteínas e hidratos de carbono con enzimas específicas, seguida de una precipitación alcohólica y purificación. Los azúcares totales por medio de titulación (932.14) y carbohidratos por diferencia.

Densidad aparente

La densidad aparente de los extruidos se determinó usando el método de desplazamiento de semillas (Pérez *et al*., 2017). Se utilizaron semillas de quinoa, las cuales fueron vertidas en una probeta graduada de 250 mL. La probeta fue sacudida suavemente 20 veces para acomodar las semillas y evitar espacios vacíos. El peso de cada muestra se determinó con una balanza de precisión. La densidad aparente se calculó dividiendo el peso de los extruidos por el volumen desplazado.

Elaboración del extruido

El chocho se sometió a un secado con el fin de disminuir su humedad a un nivel similar a la de los gritz de maíz. Para ello se utilizó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con tres tratamientos y un testigo (gritz de maíz), con tres repeticiones. El tratamiento 1 (T1) fue secado por 4 h a 70° C, tratamiento 2 (T2) por 5 h a 70° C y el tratamiento 3 (T3) por 6 h a 70° C.

El chocho seco se molió y tamizó de tal forma que la mayor proporción del material molido (más del 80%) quede retenido en el tamiz número 20 (serie de tamices

Tyler) y máximo el 20% quede retenido en el tamiz número 40. En el caso de los gritz de maíz se verificó que más del 90% del material quedó retenido en el tamiz 20.

Para conocer la composición de la mezcla chocho-maíz a extruir, se cuantificó la expansión del extruido, utilizando para ello medidas de su densidad aparente. Se elaboraron prototipos con diferente composición chocho-maíz (datos no mostrados).

El proceso de extrusión fue estudiado haciendo uso de un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con modelo factorial 2^2 correspondiente a la combinación de dos factores con dos niveles cada uno (4 tratamientos) y tres repeticiones. Los dos factores con sus correspondientes niveles fueron el diámetro de orificio de los dados (4 y 5 mm) y la composición de la mezcla chocho-maíz (80% de maíz - 20% de chocho y 75% de maíz - 25% de chocho). Las variables a medir fueron el grado de expansión del extruido, medido a través de la densidad del mismo, el contenido de proteína y la humedad del extruido.

Las condiciones para el proceso de extrusión, en un extrusor (MILTENZ 51-SP, Nueva Zelandia) de un solo tornillo, para mezclas chocho-maíz con 2.5% de sal y una humedad de la mezcla del 17% se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Condiciones de extrusión de mezclas chocho-maíz en un extrusor de un solo tornillo

Presión (bar)	Temperatura (°C)			Velocidad (Hz)			Diámetro del orificio del dado (mm)	Número dados
	Cámara 1	Cámara 2	Cámara 3	Tornillo de alimentación	Tornillo extrusor	Cuchilla		
35-40	20	100	120	5	40-45	5	5	2
60-220	20	100	130	5	40-45	5	4	2

Los extruidos obtenidos fueron sometidos a un proceso de secado, mismo que debió ser optimizado. Para ello se utilizó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con tres tratamientos y como testigo el snack Gudiz (Fritolay, Colombia). Las condiciones de secado estudiadas fueron: tratamiento 1 (T1) secado a 70° C por 20 minutos, tratamiento 2 (T2) secado a 70° C por 40 minutos, tratamiento 3 (T3) secado a 70° C por 60 minutos. La variable a medir fue la humedad del extruido luego del secado.

Estudio de mercado

El estudio de mercado se realizó con el extruido de mejores características del estudio anterior, en adolescentes, jóvenes y adultos, potenciales consumidores del producto. El tamaño de la muestra de mercado se hizo por inferencia estadística mediante la ecuación 1, utilizada para poblaciones grandes o infinitas (Reyes *et al*., 2013). Para poder conocer la desviación estándar se realizó un estudio piloto con una pequeña muestra de 50 potenciales consumidores.

$$n = \left(\frac{Z \times S}{k}\right)^2 \qquad (1)$$

Donde:

n = tamaño de la muestra buscado

Z= nivel de confianza 95% = 1,96

S= desviación estándar

K= error del muestreo

Los cálculos dieron un tamaño muestral de 195, por lo que se realizaron 200 encuestas, distribuidas equitativamente, en tres grupos de edad: adolescentes (14 a 18 años), jóvenes (19 a 25 años) y adultos (26 a 45 años). Del total de encuestas realizadas el 53 % fueron mujeres y el 47% hombres. Las encuestas para adolescentes se realizaron en los Colegios Andino y San Francisco de Sales, ubicados en parroquia rural y urbana de la ciudad de Quito, respectivamente, mientras que las encuestas a jóvenes se realizaron en la Universidad San Francisco de Quito, ubicada en una parroquia rural de la ciudad de Quito. Los adultos encuestados fueron ubicados en las afueras del supermercado Supermaxi de Tumbaco y Cumbayá. El estrato económico de los encuestados en todos los casos anteriores fue medio y alto. Las preguntas utilizadas en la encuesta realizada fueron:

- Con qué frecuencia consume Ud. snacks de sal?
- Se preocupa Ud. por el valor nutricional de los snacks que consume?
- Consume Ud. chocho?
- Conoce Ud. que mezclando un cereal y una leguminosa obtiene una combinación proteica más nutritiva?

Análisis estadístico

Se realizó ANOVA y test de Dunnett para los análisis con un grupo testigo, mientras que se empleó Tukey para las comparaciones entre tratamientos ($p<0,05$), utilizando los softwares IBM SPSS Statistics (IBM; USA) e InfoStat

statistics (Infostat version 2014, Argentina). Todas las medidas se hicieron por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elaboración del extruido expandido

Los resultados del secado del chocho, previo a la extrusión, mostraron que los tratamientos T1 y T2 fueron diferentes al testigo ($p<0,05$) (Cuadro 2). El tratamiento T3 y el testigo fueron estadísticamente iguales entre sí. Se escogió el tratamiento T3, secado a 70° C por 6 h, ya que con este tratamiento se obtuvo una humedad similar a la del testigo.

Cuadro 2. Secado de chocho desamargado y su contenido de humedad al final del secado

Tratamiento-testigo	Diferencia de medias
T1 (4 h a 70° C)-testigo	12,88*
T2 (5 h a 70° C)-testigo	6,62*
T3 (6 h a 70° C)-testigo	1,70

*La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

Dentro de la elaboración de los prototipos se concluyó que la extrusión con expansión en un extrusor de un solo tornillo fue posible utilizando mezclas chocho-maíz, con contenido de chocho entre 20% y 25% (b.s.). La extrusión con expansión con mezclas de 30% de chocho (b.s.) no fue posible con ese tipo de extrusor. El incremento de proteína y con ello la disminución del almidón disponible posiblemente imposibilitó el proceso de extrusión. Pérez *et al*. (2017) elaboraron extruidos de mezcla chocho-quinoa y camote, en un extrusor de doble tornillo, con valores límites de chocho del 26%, valor similar al del presente trabajo.

El análisis ANOVA del proceso de extrusión mostró que el diámetro de orificio de los dados (diámetro de orificio) y la composición de la mezcla tuvieron incidencia significativa sobre el grado de expansión y la humedad del extruido. El cuadro 3 muestra que la mezcla con 80% maíz y 20% chocho con diámetro de orificio de 4 mm tuvo la mayor densidad aparente (menor grado de expansión), mientras que no hubo diferencia en la densidad aparente entre los otros tres tratamientos ($p<0,05$). Respecto al contenido de proteína, los tratamientos con 75% de maíz y 25% de chocho, independiente del diámetro de los orificios del dado, tuvieron el mayor contenido proteico. En relación con el contenido de humedad del extruido, los tratamientos con diámetro de orificio de 4 mm, independiente de la composición de la mezcla, tuvieron la menor humedad ($p<0,05$).

Los valores de las cuatro mezclas tuvieron una mayor densidad (entre 0,37 y 0,69 g/mL) que, extruidos de maíz, cuya densidad fue de 0,28 g/mL (Flores, 2019). Por otro lado, los contenidos de proteína y humedad del extruido de maíz fueron de 8,32 g/100g y 5,42 g/100g, respectivamente, mismos que fueron menores a los de los cuatro tratamientos. El mayor contenido de almidón del maíz permite una mayor expansión del extruido, esto debido a que el almidón juega un papel importante en la expansión.

Cuadro 3. Densidad aparente, contenido de proteína y humedad de extruidos a base de mezclas chocho-maíz

Tratamientos[1]	Densidad aparente (g/mL)	Proteína (g/100g)	Humedad (g/100g)
a1b1	0,69±0,08^{A}	13,91±0,18^{B}	8,38±0,79^{B}
a1b2	0,44±0,06^{B}	15,68±0,20^{A}	8,67±0,82^{B}
a2b1	0,38±0,05^{B}	14,18±0,19^{B}	9,50±0,91^{A}
a2b2	0,37±0,05^{B}	15,91±0,24^{A}	9,97±0,93^{A}

Medias seguidas por las mismas letras superíndices no difieren entre sí al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey.
[1]a1b1: 20% chocho-80% maíz, diámetro de orificio del dado 4 mm. a1b2: 25% chocho-75% maíz, diámetro de orificio del dado 4 mm. a2b1: 20% chocho-80% maíz, diámetro de orificio del dado 5 mm. a2b2: 25% chocho-75% maíz.

Pérez *et al*. (2017) encontraron valores de densidad aparente entre 0,199 y 0,427 g/cm^3 para extruidos de mezclas con quinoa-chocho-camote mientras Potter *et al*. (2013) encontraron que, en las formulaciones elaboradas con harinas de frutas, la densidad aparente fue entre 0,209 y 0,311 g/cm^3. La mayor densidad de los snacks extruidos del presente trabajo puede ser atribuida a la presencia de fibra que absorbe la humedad y disminuye la expansión de los extruidos (Potter *et al*., 2013).

Para poder escoger el mejor tratamiento se realizó una ponderación, priorizando la densidad aparente, con los siguientes valores según su importancia: densidad aparente 3, contenido de proteína 2 y humedad 1 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Ponderación de la densidad aparente, contenido de proteína y humedad de los extruidos expandidos a base de mezclas chocho-maíz

	Tratamientos			
Variables	a1b1	a2b2	a1b2	a2b1
Densidad aparente	0	3	3	3
Contenido de proteína	0	2	2	0
Humedad	1	0	1	0
Total	1	5	6	3

El tratamiento que obtuvo el mayor puntaje después de la ponderación, fue el tratamiento a1b2. Este tratamiento correspondió a una mezcla de 25% de chocho y 75% de maíz, extruida con diámetro de orificio de 4 mm, cuyos extruidos tuvieron la menor densidad aparente, el mayor contenido de proteína y la menor humedad.

Los resultados del secado del extruido (Cuadro 5), mostraron que el tratamiento T1 fue diferente al testigo ($p<0,05$). No hubo diferencias entre los tratamientos T2 y T3 con el testigo. Se escogió el tratamiento 2 con tiempo de secado de 40 minutos a 70° C, ya que con este tratamiento se logró un extruido con una humedad igual a la del testigo, con menor tiempo de secado y por ende mayor ahorro de energía.

Cuadro 5. Humedad de extruido de mezcla 25% chocho y 75% maíz, elaborado con un dado con diámetro de orificio de 4 mm, luego del secado a 70 °C por tres tiempos diferentes

Tratamiento-testigo	Diferencia de medias
T1 (20 minutos)-testigo	3,77*
T2 (40 minutos)-testigo	0,79
T3 (60 minutos)-testigo	0,48

*La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

Análisis proximal

El cuadro 6 muestra que el extruido escogido del análisis de ponderación (25% de chocho y 75% de maíz) tuvo un contenido proteico de 15,75; 6,57 de grasa, 3,33 de cenizas y 14,27 g/100 g de fibra dietética. El extruido tuvo un aporte de fibra dietética que representa el 11,26% (Li and Komarek, 2017) del requerimiento diario para una porción de extruido de 30 g (NTE INEN 1334-2:2011. INEN, 2011). Considerando una ingesta proteica diaria recomendada de 60 g proteína/día para una persona de 75 kg (Delgado *et al*., 2020), una porción de 100 g del extruido (Norma NTE INEN 1334-3:2011. INEN, 2011) aportaría con 43,9% de la ingesta diaria recomendada, clasificando al extruido como un alimento con alto contenido de proteína.

Los contenidos de humedad y grasa se encuentran dentro de lo establecido por las Normas Técnicas Ecuatorianas INEN para extruidos, que permiten un nivel máximo de humedad del 5% y 40% de grasa (Norma NTE INEN 2 561:2010. INEN, 2010).

Cuadro 6. Análisis proximal del extruido expandido a base de una mezcla 25% chocho y 75% maíz, elaborado con un dado con diámetro de orificio de 4 mm

	Contenido (g/100 g)
Humedad	4,48±0,44
Proteína	15,75±0,22
Grasa	6,57±0,18
Ceniza	3,33±0,03
Carbohidratos	69,87±0,43
Fibra dietética	14,27±0,27
Azúcares	0,00±0,00

n=3

Pérez *et al*., (2017) encontraron un contenido de proteína entre 17,33 y 21,86% para extruidos elaborados a partir de una mezcla chocho, quinoa y camote. El mayor contenido proteico de dicho trabajo puede deberse al mayor contenido de chocho en el extruido elaborado. Por otro lado, Manosalvas *et al*. (2019) elaboraron un extruido de una mezcla maíz-papa y chocho, con contenido de proteína de 18,69% y de humedad de 5,13%. Las diferencias con este último estudio podrían deberse a la diferencia en las materias primas utilizadas y a los parámetros de extrusión.

Estudio de mercado

Los resultados del estudio de mercado del extruido seleccionado con análisis de ponderación y sometido a un secado posterior a 70 °C por 40 min, mostraron que el 86% de personas consume snacks de sal al menos una vez por semana (Figura 1a), con una media aritmética de consumo de 2 veces por semana. La mayoría de los encuestados (56%) no le dan importancia al valor nutritivo de los snacks de sal que consumen, mientras que el 50,7% de los jóvenes y el 62,1% de los adultos se preocupan por ingerir snacks nutritivos (Figura 1b). Estos resultados sugieren que el extruido de chocho y maíz podría ser atractivo para las personas que le dan importancia a la ventaja nutricional de snacks. Debido a que el 76% de personas encuestadas consume chocho, hay una amplia posibilidad de que consuman un extruido hecho a base de esta leguminosa. Sin embargo, hay que considerar que solo el 36% de los encuestados conoce de las ventajas nutricionales de las mezclas cereal-leguminosa. Por ello, al realizar la estrategia de marketing, debido a la falta de conocimiento por parte de los consumidores, sería necesario hacer énfasis en la ventaja nutritiva de la combinación cereal/leguminosa del extruido. La mayoría de adolescentes, jóvenes y adultos (44%) consumirían el extruido de chocho y maíz una vez por semana; y un porcentaje considerable (32%) lo consumiría más de dos veces por semana (Figura 1 c), con una media aritmética de consumo de 2 veces por semana. A pesar de que solo al 19,4% de los adolescentes les llama la atención el consumir un snack nutritivo, siguen siendo consumidores frecuentes de snack, pues solo un 17,9% de ellos no consumen snacks. En resumen, el extruido de chocho y maíz tiene posibilidades de mercado en los tres grupos encuestados.

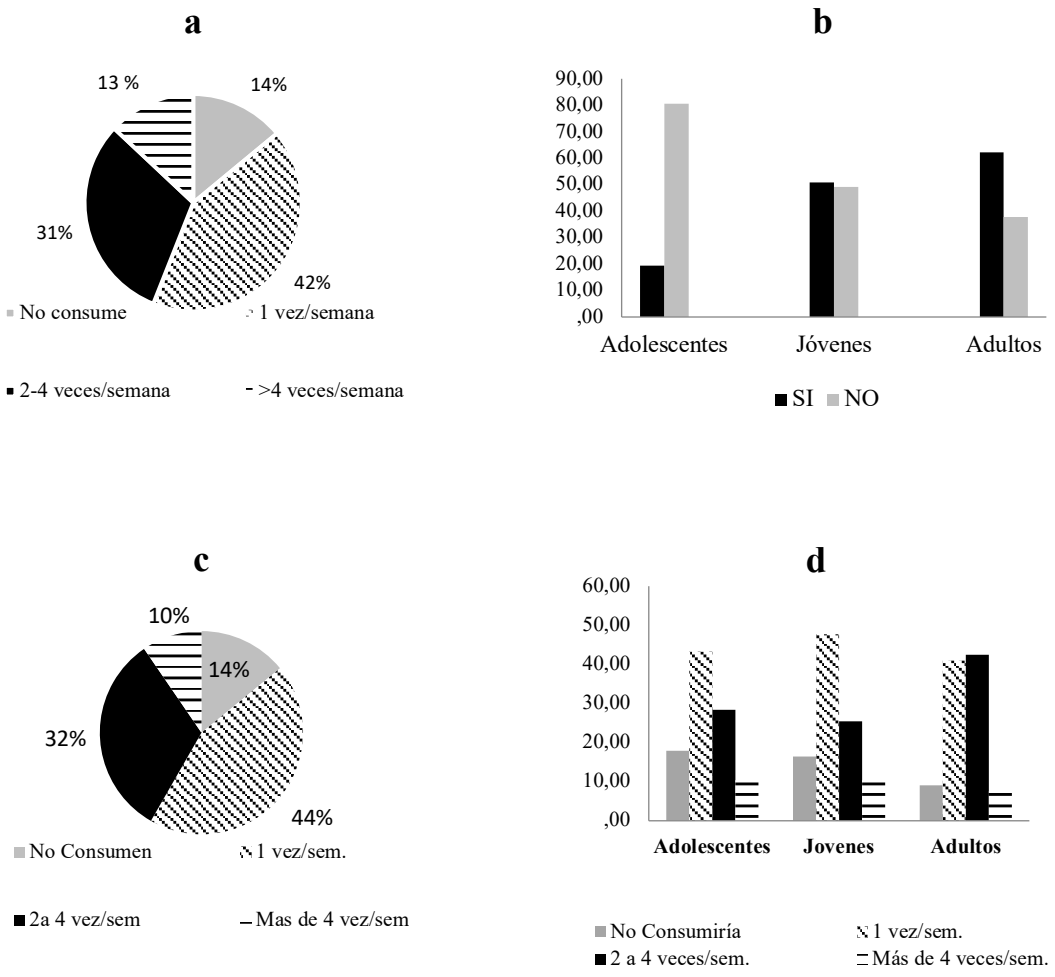

Figura 1. Estudio de mercado del consumo de un extruido de chocho y maíz. (a) Frecuencia de consumo de snacks de sal (b) Preocupación por un snack nutritivo según el rango de edad (c) Frecuencia de consumo de un extruido de chocho-maíz (d) Frecuencia de consumo de un extruido de chocho-maíz según el rango de edad

CONCLUSIONES

La extrusión con expansión en un extrusor de un solo tornillo fue posible utilizando mezclas chocho-maíz, con contenido de chocho entre 20% y 25% (b.s.). La mezcla de 25% de chocho y 75% de maíz, extruida con dados de diámetro de orificio de 4 mm, permitió obtener extruidos con una baja densidad aparente, un aporte proteico por encima de la ingesta diaria recomendada y una gran aceptación entre potenciales consumidores adolescentes, jóvenes y adultos.

LITERATURA CITADA

AOAC (Association of Official Analytical Chemistry). 2019. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemistry, Gaithersburg, Maryland.

Choi, O., Zhao, C., Ameer, K. and Eun, J. 2021. Effects of soy flour types and extrusion-cooking conditions on physicochemical, microstructural and sensory characteristics of puffed rice snack base. International journal of food engineering 17: 473-483

Delgado, V., Ramos, P., Hernández, L. y Villavicencio V. 2020. Ingesta protéica y composición corporal en adultos jóvenes que asisten a consulta externa a un centro de salud, Ecuador. La Ciencia al Servicio de la Salud y la Nutrición 11: 14-22

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2019. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Roma.

Flores, J. 2019. Efecto de los parámetros de extrusión sobre la calidad nutricional y de textura en la mezcla de maíz *Zea mays*, chocho *Lupinus mutabilis* y zanahoria blanca *Arracacia xanthorrhiza* en el snack. Tesis. Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Ecuador

Gutiérrez, A., Infantes, M., Pascual, G. y Zamora, J. 2016. Evaluación de los factores en el desamargado de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet). Agroindustrial Science 6: 145-149

Huang, L. and Zhang, M. 2012 . Trends in Development of Dried Vegetable Products as Snacks. Drying Technology 30: 448-461

Li, Y. and Komarek, A. 2017. Dietary fibre basics: Health, nutrition, analysis, and applications. Food Quality and Safety 1: 47-59

Manosalvas, L., Villacrés, C. y Taimal, R. 2019. Efecto de la humedad de alimentación y temperatura de extrusión sobre el contenido nutricional de un snack a base de maíz, chocho y papa. Revista Bases de la Ciencia 4:67-80

Normas Técnicas Ecuatorianas. 2010. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito. Ecuador

Normas Técnicas Ecuatorianas. 2011. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito. Ecuador

Pérez, K., Peñafiel, C. y Delgado, V. 2017. Bocadito con alto contenido proteico: un extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y camote (*Ipomoea batatas* L.). Scientia Agropecuaria 8(4): 377 – 388

Potter, R., Stojceska, V. and Plunkett, A. 2013. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. LWT - Food Science and Technology 51(2): 537- 544

Reyes, O., Espinosa, R. y Olivera, R. 2013. Criterios para determinar el Tamaño de Muestra en Estudios Descriptivos. Celaya Academia Journals 5: 2019-2024

Singh, S., Gamlath, S. and Wakeling, L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. International Journal of Food Science and Technology 42: 916-929

Tomczak, A., Zielinska-Dawidziak, M., Piasecka-Kwiatkowska, D. and Lampart-Szczapa. E. 2018. Blue lupine seeds protein content and amino acids composition. Plant Soil Environment 64:147-155

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍA EN LA POLÍTICA DE COMPETITIVIDAD COLOMBIANA CONPES3527: CASO CEBOLLA BULBO 2008-2016

ADOPTION OF TECHNOLOGY IN THE COLOMBIAN COMPETITIVENESS POLICY CONPES3527: BULB ONION CASE 2008-2016

Diego Alejandro Salinas Velandia[1], Karen Andrea Alarcón Beltrán[2], Cesar Augusto Forero Camacho[2]

[1]Centro Interdisciplinario de Estudios sobre Desarrollo, Universidad de los Andes, , Cra. 1 #18a-12, Bogotá, Colombia
[2] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –AGROSAVIA, Km 14 vía Bogotá, Mosquera – Cundinamarca

Email: dsalinas@agrosavia.co

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
17/02/2022

Aceptado:
30/06/2022

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
13(1):39-51

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i1.270

Resumen

La baja productividad del sector agropecuario y los bajos niveles de adopción de tecnologías están entre los principales obstáculos para que Colombia sea más competitiva. Para cambiar esto, estuvo vigente entre 2008 y 2016, la política nacional de competitividad y productividad, a través del documento Conpes3527. El objetivo de este trabajo fue evidenciar los aciertos y desaciertos del primer eje estratégico del Conpes, por medio de la identificación del avance de la competitividad en el subsector hortícola, usando como caso de estudio a la cebolla de bulbo en Cundinamarca, a través de una metodología de tres pasos: primero, se utilizó el concepto de competitividad sistémica para identificar el nivel de análisis en el que se trabajó; segundo, se definieron cinco categorías de análisis: identificación de los problemas tecnológicos; financiación de investigaciones; investigaciones; asistencia técnica agropecuaria y líneas de créditos especiales y tercero, se construyó un índice basado en una encuesta aplicada a especialistas para identificar el avance de la competitividad. Se encontró que las herramientas diseñadas en el Conpes no lograron mejorar los niveles de competitividad, debido a cinco razones: 1. Las demandas están escritas de forma ambigua; 2. No se llega a los niveles de inversión que se espera; 3. No hay un instrumento de coordinación de las investigaciones para el subsector hortícola; 4. El modelo de transferencia a través de Epsagro, generó desorden y una desconexión entre la oferta y la demanda de soluciones técnicas y 5. La línea de crédito no se implementó.

Palabras clave: Competitividad sistémica, identificación de los problemas tecnológicos, financiación de las investigaciones, asistencia técnica agropecuaria, líneas del crédito.

Abstract

The low productivity of the agricultural sector and the low levels of technology adoption are among the main obstacles for Colombia to be more competitive. To change this, the national competitiveness and productivity policy was in force between 2008 and 2016, through the document Conpes3527. The objective of this work was to show the successes and failures of the first strategic axis of Conpes, through the identification of the advance of competitiveness in the horticultural subsector, using the bulb onion in Cundinamarca as a case study, through a three-step methodology: first, the concept of systemic competitiveness was used to identify the level of analysis at which the work was carried out; second, five categories of analysis were defined: identification of technological problems; research funding; research; agricultural technical assistance and special credit lines and third, an index was built based on a survey applied to specialists to identify the progress of competitiveness. It was found that the tools designed in Conpes failed to improve competitiveness levels, due to five reasons: 1. The demands are written in an ambiguous way; 2. The expected levels of investment are not reached; 3. There is no research coordination instrument for the horticultural subsector; 4. The transfer model through Epsagro generated disorder and a disconnection between supply and demand for technical solutions and 5. The line of credit was not implemented.

Keywords: Systemic competitiveness, identification of technological problems, research financing, agricultural technical assistance, lines of credit.

INTRODUCCIÓN

La competitividad es un tema relevante para el desarrollo de los países porque define la manera en que estos se insertan en el mercado mundial. Esta consiste en "sostener y expandir la participación de un país en los mercados internacionales, al tiempo que eleva la calidad de vida de su población" (Fajnzylber, 1988). La importancia de la competitividad puede observarse en su relación positiva con el proceso de crecimiento y desarrollo económico a largo plazo de los países (Medeiros *et al.,* 2019).

Colombia ha buscado diseñar políticas públicas dirigidas a mejorar las capacidades competitivas de los sistemas productivos como complemento de las políticas nacionales de desarrollo. El Conpes3297 de 2004 buscó generar estrategias para mejorar la productividad y la competitividad, de cara a los tratados de libre comercio que iniciaban vigencia en esa época. A pesar de esto, el país continuó con rezagado en su capacidad competitiva.

Luego de las evaluaciones de competitividad, realizadas por el Banco Mundial y el Foro Económico Mundial, se evidenció que para 2007 el atraso en competitividad continuaba, los sectores más rezagados en Colombia eran agricultura y servicios inmobiliarios, los cuales no superaban el 10% de la productividad exhibida por los mismos sectores en Estados Unidos (Conpes 3527, 2008). Las mediciones realizadas por el Banco Mundial (2007) y el Foro Económico Mundial (2006), señalaban que los principales obstáculos para que Colombia fuera más competitiva eran los bajos niveles de adopción de tecnologías y la baja productividad del sector agropecuario.

Buscando dar respuesta a esta problemática en 2008, el Gobierno Nacional definió, a través del Conpes 3527, la política nacional de competitividad y productividad, en la cual estableció 15 planes de acción que pretendían hacer al país más competitivo. Entre estos, presentó el plan de acción para mejorar la competitividad del sector agropecuario. Este plan definió cuatro ejes estratégicos para su ejecución: (1) mejorar la productividad y la eficiencia en los sistemas de producción agropecuaria, (2) mejorar el acceso real de la producción agropecuaria a los mercados internacionales, (3) propender por la estabilidad del ingreso de los productores y el incremento de las inversiones en el campo, y (4) sectores de clase mundial en el sector agropecuario. Fue así como desde su consecución y hasta 2016 las iniciativas suscritas dentro de este plan se convirtieron en las estrategias para mejorar la competitividad en el sector agropecuario colombiano.

A pesar de la puesta en marcha del Conpes 3527, el rezago del sector agropecuario continuaba, al respecto, Melo y Orozco (2016) quienes evaluaron la eficiencia de los pequeños productores agropecuarios hallaron que en todos los sistemas los hogares con mayor producción tenían medidas más altas de eficiencia técnica, lo cual es preocupante según lo encontrado para esta misma población por Ramírez *et al.* (2016) quienes mostraron que el nivel de ineficiencia técnica en la producción agropecuaria en Colombia llegaba del 61% en la producción de productos básicos como la cebolla, lo cual genera limitaciones fuertes en la competitividad del sector (Zuluaga, 2016) y con ello aumenta, como menciona Arredondo y Hernández (2012) la dificultad de acceder a los mercados, tanto nacionales como internacionales y por tanto se ve reducida su capacidad competitiva.

Al analizar las inversiones obligatorias y los créditos agropecuarios en Colombia, Estrada *et al.* (2016) determinaron que persisten restricciones de crédito en el sector, dado que no se evidenció un aumento de los créditos a pequeños productores y como si fuera poco, según Byerlee *et al.,* (2008), en el gasto público en agricultura, han primado los apoyos a los precios y otras ayudas de naturaleza discrecional sobre la provisión de bienes públicos en una proporción de cuatro a uno.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evidenciar los aciertos y desaciertos del primer eje estratégico del Conpes3527 por medio de la identificación del avance de la competitividad en el subsector hortícola, usando como caso de estudio a la cebolla de bulbo en Cundinamarca.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó a través de tres pasos: primero, se utilizó el concepto de competitividad sistémica para identificar el nivel de análisis en el que se trabajó y se identificó el eje estratégico del Conpes, que tenía la mayor cantidad de acciones enfocadas en el nivel identificado: primer eje estratégico; segundo, basados en los instrumentos que definió el Conpes en el primer eje estratégico, se definieron cinco categorías de análisis (Cuadro 2): identificación de los problemas tecnológicos; financiación de investigaciones; investigaciones; asistencia técnica agropecuaria y líneas de créditos especiales; tercero, para identificar el avance de la competitividad, se construyó un índice, el cual se basó en revisión de literatura y en una encuesta aplicada a especialistas en la cual se consultó su opinión sobre el factor de ponderación correspondiente a cada categoría, el cual fue diferencial para cada una. Las categorías definidas con base en los instrumentos presentados en el Conpes conforman, desde la política, el proceso que genera promoción en la adopción de tecnologías.

Competitividad sistémica: La competitividad se ha convertido en un campo de estudio en donde uno de los principales intereses es identificar los factores que la generan. En este marco, nace el enfoque de competitividad sistémica, el cual busca identificar las causas que producen competitividad, por lo cual es una herramienta de estudio sobre los elementos que la determinan. Hay dos

fundamentos que la caracterizan: el primero, como explica Esser *et al.* (1996) es la adopción de elementos multidisciplinarios en los que se incluyen argumentos de gestión económica desarrollados en el plano de las ciencias políticas y relacionados con las redes políticas y el segundo es la distinción entre cuatro niveles analíticos: meta, macro, meso y micro. Cada uno de estos niveles intenta dar respuesta a los problemas que impiden el desempeño competitivo.

En el nivel meta o de los valores y cultura, se examinan factores como la capacidad de una sociedad para la integración y la acción estratégica (Zevallos, 2011); en el nivel macro, o de las grandes decisiones, se revisa la estabilidad en el contexto macroeconómico (Esser *et al.*, 1996); en el nivel meso, o de las decisiones de política regional y/o sectorial, se analizan las políticas de apoyo específico a sectores o empresas para fomentar la formación de estructuras y articulación de los procesos de aprendizaje y el nivel micro se revisa simultáneamente la eficiencia, calidad, flexibilidad y rapidez de reacción de las empresas.

Caso de estudio: El caso de estudio en cebolla de bulbo fue seleccionado porque este sistema productivo estaba priorizado en marco del Conpes 3527 y dentro de las hortalizas priorizadas por la política, es la de mayor importancia para el país por tres razones: primera, es un importante generador de ingresos económicos por venta del producto y mano de obra familiar para pequeños cultivadores (Sanabria, *et al,.* 2014); segunda, es una de las hortalizas más demandadas para la gastronomía tradicional, con un consumo nacional per cápita de 10,3 kilos, mayor que el promedio mundial de 8,3 kilos (Pinzón *et al.,* 2006) y tercera, la cebolla de bulbo junto con la cebolla de rama, la arveja, el tomate, la zanahoria y el haba constituyen el 75% del área sembrada en hortalizas en el país (DANE, 2016).

En Colombia, la cebolla de bulbo (*Allium cepa* L) se produce principalmente en el altiplano Cindiboyacense. En Cundinamarca, la producción de hortalizas satisface demandas regionales y se establece en economías campesinas utilizando métodos tradicionales y de baja tecnificación (Delegatura de la Protección de la Competencia, 2011), donde el tamaño de las parcelas en promedio no supera las dos hectáreas, por lo cual están manejadas por pequeños productores. La producción de cebolla, según datos de Agronet en 2018, fue de 185 835 t a nivel nacional, de las cuales 35 764 t fueron producidas en el departamento de Cundinamarca que logró una participación del 19,25% en la producción nacional, convirtiéndose para este año en el segundo productor después de Boyacá que tuvo 50.7% de la participación.

Su mercado presenta oportunidades de crecimiento a nivel nacional e internacional. Sin embargo, presentan tres importantes retos que deben superarse: primero, como menciona la CCI (2012) es un sistema "fuertemente atomizado, con poca vocación empresarial o gremial", lo que dificulta las posibilidades de adopción de tecnología; segundo, la institucionalización de la cadena está representada por Asohofrucol, organización que agremia a productores de frutas, hortalizas, plantas aromáticas, especias, medicinales, raíces y tubérculos (Asohofrucol, 2019a), y que por la cantidad de cadenas agroalimentarias que agremia; enfrenta retos para la representación de todas estas, y tercero, según la Delegatura de Protección de la Competencia (2011), la integración vertical es prácticamente inexistente, los intereses de los eslabones no están coordinados y en las transacciones presentan altos niveles de informalidad, actitudes oportunistas e incertidumbre, lo cual aumenta los costos de transacción.

Categorías de análisis: Teniendo en cuenta las metas propuestas para el sector agropecuario, relacionadas con la promoción de la adopción de tecnología del Conpes 3527, se evidenció en el primer eje estratégico de esta política que la promoción de la adopción de tecnologías es entendida como un proceso de cinco pasos, que al completarse permiten mayor probabilidad de adopción. Estos pasos son: a) identificación de los problemas tecnológicos; b) financiación de investigaciones; c) investigaciones; d) asistencia técnica agropecuaria y e) líneas de créditos especiales. Para esta investigación estos pasos se entienden como categorías de análisis, por lo tanto, se considera que la promoción en la adopción de tecnologías es el resultado del comportamiento positivo de cinco categorías (Cuadro 2), las cuales se organizaron de manera secuencial para evidenciar el proceso. Se comenta que, aunque en el documento Conpes no es explícita la categoría de investigación, esta se incluyó pues el proceso planteado hace implícita su necesidad.

Índice de avance del proceso de promoción de la adopción de tecnologías

Para establecer el grado de avance en el proceso de promoción de la adopción de tecnologías entre el año 2008 y 2016, se creó un índice. Para definir la fórmula con la cual se calculó, se siguieron tres pasos:

1. Se organizó una matriz documental (Cuadro 2) en la cual se definieron las fuentes de información secundaria para cada categoría, así como, los criterios de evaluación, los cuales indican la manera en la que se utilizó cada fuente de información. Además, se le asignó a cada categoría una letra. Esta matriz permitió organizar la información en cuanto a bases de datos para cada categoría desde una perspectiva global e integrada, para asegurar una mayor consistencia y correspondencia.

2. Para determinar el avance o retroceso en la adopción de tecnologías, se estableció un sistema de puntuación basado en el comportamiento de cada categoría según la evaluación realizada con base en los criterios definidos en el paso uno, en el que se comparó el estado de cada una entre 2009 y 2016. La puntuación se definió de la siguiente

manera: se le asignó el valor de 1 cuando la evaluación mostró un avance, 0 cuando a pesar de los esfuerzos la categoría se mantuvo igual y -1 cuando hubo un retroceso.

3. Con la información colectada en los pasos uno y dos, se inició la construcción de una fórmula que permitió relacionar la evolución de cada categoría y permite identificar el avance de la competitividad en el subsector hortícola entre el año 2009 y 2016. Para la elaboración de este algoritmo se siguieron los siguientes pasos:

I. Se realizó una encuesta a especialistas seleccionados por ser académicos relacionados con los temas estudiados en este artículo o por haber participado en la elaboración o ejecución de los planes mencionados en el primer eje estratégico del Conpes 3527. La encuesta consultó su opinión sobre el factor de ponderación correspondiente a cada categoría. Los resultados de la encuesta fueron compilados, promediados y concertados para conformar los coeficientes del algoritmo. De esta manera se estableció el peso o ponderación correspondiente a cada categoría (Cuadro 1).

II. Se estableció según el criterio de los autores y basados en literatura sobre índices compuestos y análisis de criterios múltiples, las relaciones de interdependencia que hay entre las categorías, teniendo en cuenta su dinámica en el sector agropecuario.

Cuadro1. Puntuaciones y factor de ponderación obtenidos para cada subcategoría.

Categorías	Factor de ponderación		Puntuación	
Identificación de los problemas tecnológicos	A	21,47	a	1
Financiación de investigaciones	B	19	b	1
Investigaciones	C	20	c	1
Asistencia técnica agropecuaria	D	20,93	d	-1
Líneas de créditos especiales	E	18,6	e	-1

Cuadro 2. Categorías de análisis proceso de promoción de la adopción de tecnología.

Letra	Categorías de análisis	Instrumento en el Conpes	Criterio de evaluación
A - a	Identificación de los problemas tecnológicos	Agendas de Innovación Tecnológica	Se considera que debe haber por lo menos dos agendas de investigación para el sistema productivo de cebolla de bulbo en Cundinamarca y en caso de que sea así, si hay menos demandas en 2014 que en 2009 se avanzó (1); si el número de demandas es igual entre 2009 y 2014 entonces se mantuvo igual (0) y si hay mayores demandas en 2014 que en 2009, entonces hay un retroceso (-1).
B - b	Financiación de investigaciones	Inversiones en ACTeI financiadas por el ministerio de agricultura para el sector agropecuario	Se asume que si la tendencia en la inversión de recursos destinados a ACTI para el sector agropecuario entre 2009 y 2016 por el MADR es al alta se avanzó (1), si la tendencia en la inversión entre 2009 y 2016 se mantuvo igual, entonces (0) y si la tendencia entre 2009 y 2016 es a la baja entonces (-1).
C - c	Investigaciones	No aplica	Las ofertas tecnológicas son los resultados de las investigaciones, por lo cual se considera que, si hay mayor número de ofertas tecnológicas entre 2009 y 2016, entonces se avanzó (1), si el número se mantiene, entonces, no hubo avance (0), y si el número disminuye entonces se retrocedió (-1).
D- d	Asistencia técnica agropecuaria	Fomento al uso de la asistencia técnica en la actividad agropecuaria a través de Agro Ingreso Seguro (AIS).	El fomento al uso de la asistencia técnica se ha generado a través de un Sistema de Asistencia Técnica nacional (SAT) que ha cambiado a través de los años. Por lo cual, se contrastaron los SAT anterior al Conpes 3527 y el que se empezó a implementar después, con base en esto se determinó si hubo o no avance, así: si se evidencia a través de la literatura que hubo avance entonces (1), si la literatura no evidencia avances, ni retrocesos, entonces (0), y si la literatura evidencia retroceso, entonces (-1).
E- e	Líneas de créditos especiales	Identificación del dinero invertido en ICR para la linea de modernización tecnológica en Cundinamarca	El incentivo a la capitalización rural es el instrumento que se definió en el plan de acción para mejorar la competitividad en el sector agropecuario del Conpes 3527 para permitir el acceso a las nuevas ofertas tecnológicas. Por lo tanto, se utilizará este instrumento para evaluar el avance así: se considera que luego de su implementación, si la tendencia a la aprobación de créditos a través de la línea de modernización tecnológica entre 2009 y 2016 es al alza, entonces (1); si luego de implementarse se mantuvo igual, entonces (0) y si la tendencia es a la baja, entonces (-1)

En la fórmula, las letras mayúsculas corresponden a los valores de los factores ponderados; las letras minúsculas corresponden a la valoración por categoría, que se dio teniendo en cuenta el sistema de puntuación definido según el criterio de evaluación de la matriz documental. Con base en el procedimiento explicado y los criterios definidos en la matriz, el índice de avance del proceso de promoción de la adopción de tecnologías fue:

$$f(x) = \left(\frac{A}{2} * a + Dd\right) + (Ccb + Bb + (\frac{D}{2} * d)) + Ee;$$

En donde:

f(x) = avance en la promoción de la adopción de tecnologías del primer eje estratégico del plan de acción para mejorar la competitividad en el sector agrícola

Nota: en caso en que C sea negativo al mismo tiempo que B. Se debe hacer el cálculo utilizando el valor absoluto de C.

De esta manera el índice para el avance en la promoción de la adopción de tecnologías se estableció en un intervalo que va desde -100 a 100. En donde: si se obtiene un puntaje negativo indica que hubo retroceso; si se obtiene un puntaje igual a cero, indica que, en cuanto al avance, se mantuvo igual; y si se obtiene un puntaje positivo indica que hubo avance. La magnitud del avance o el retroceso lo indica el coeficiente resultado del cálculo con la fórmula.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación de los problemas tecnológicos

Para promover la innovación y adopción de tecnologías en el sector agropecuario y siguiendo el plan de acción para mejorar la competitividad del Conpes 3527, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) desarrolló diecisiete agendas prospectivas de investigación en cadenas productivas agroindustriales por departamento (Conpes 3668, 2010). Estas agendas fueron concebidas como "herramientas para permitir la competitividad de las cadenas productivas dando respuesta a los limitantes tecnológicos y para mejorar la calidad de vida de los actores del sector agropecuario" (Corpoica, 2010).

La construcción de la primera agenda de investigación de la cadena de hortalizas incluida la cebolla de bulbo, mientras se ejecutó el Conpes, fue desarrollada por un convenio entre la Secretaría de Planeación del Departamento de Cundinamarca y Corpoica (actualmente Agrosavia), con el objetivo de promover el fortalecimiento de la competitividad en el nivel micro a través de la identificación de demandas tecnológicas. Dado que las agendas de investigación deben tener un plazo para generar las soluciones a los problemas allí priorizados, se actualizan cada 5 años, teniendo en cuenta lo anterior, para el periodo de estudio se encontraron dos listados de demandas tecnológicas (Cuadro 3). El primero en 2009 el último en 2014.

Cuadro 3. Listado de demandas tecnológicas en cada agenda de investigación, organizadas por áreas temáticas.

Área Temática	2009	2014
Calidad e inocuidad de insumos y productos	3	
Fisiología vegetal y nutrición	1	1
Fortalecimiento de capacidades técnicas y funcionales	3	
Manejo cosecha, postcosecha y transformación	2	1
Manejo de suelos y aguas	3	1
Manejo sanitario y fitosanitario	2	
Material de siembra y mejoramiento genético	2	1
Socioeconomía, mercadeo y desarrollo empresarial	3	
Transferencia de tecnología, asistencia técnica e innovación	3	

Fuente: Elaboración propia, con datos de Siembra (2019) y Corpoica (2010)

El cuadro 3 evidencia que a través del tiempo se ha disminuido el número de demandas tecnológicas para el sistema productivo de cebolla de bulbo en un 81%, lo cual sugiere que algunas de las demandas iniciales se han venido resolviendo. Sin embargo, se debe advertir que la metodología en la captura de demandas es una variable que afecta directamente a la cantidad de necesidades que se agregan en cada agenda. Aunque las dos agendas de investigación fueron ejecutadas por Agrosavia, las metodologías de captura han variado, lo que sugiere que hay un sesgo en la comparación. A pesar de esto, dado que el instrumento propuesto en el plan de acción para mejorar la competitividad del Conpes 3527, relacionado con la construcción de agenda como instrumento para identificar las necesidades en territorios específicos se mantiene y teniendo en cuenta que la diferencia entre las demandas encontradas entre las dos agendas de investigación es alta y que para el 2016 se avanzaba en la organización de las agendas de investigación sistematizando las demandas a través de la plataforma pública y online, Siembra, esta categoría se valora como "avanzó", en relación a la matriz planteada.

Financiación de investigaciones

La intensidad de las inversiones en actividades de ciencia tecnología e innovación en el sector agropecuario es uno de los factores claves para lograr avances en la adopción de tecnologías, debido a que sin esta no es posible la investigación agropecuaria, la cual es una de las

principales fuentes de innovación. La actividad propuesta por el plan de acción para mejorar la competitividad del sector agropecuario del Conpes 3527 para financiar actividades de ciencia tecnología e innovación (ACTI), fue aumentar el financiamiento de proyectos de innovación tecnológica dirigidas al sector agropecuario a través de convocatorias financiadas por el MADR.

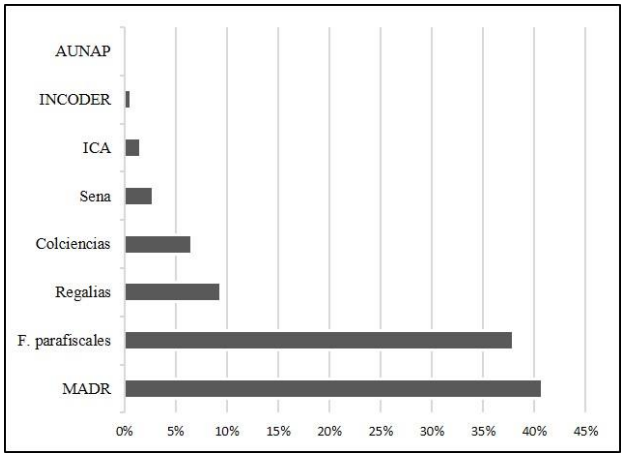

Gráfico1. Inversión pública en actividades de ciencia tecnología e innovación en el sector agropecuario colombiano.
Fuente: Siembra (2020).

Durante el tiempo en que se ejecutó el Conpes 3527, la relación promedio del gasto en ACTI con el PIB fue de 0,07% (Gráfico 1), lo cual llama la atención, pues como menciona Junguito *et al.* (2014) este índice tiende a subir cerca del 4% del PIB en los países más avanzados, y del 1% en los países emergentes. A pesar de esto, se evidencia una tendencia al aumento en la inversión, en donde se destaca el año 2012, ya que muestra un incremento importante del dinero invertido. Este aumento corresponde a la puesta en marcha del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del sistema general de regalías (SGR), el cual dispone del 10% de los recursos percibidos y como menciona Corpoica (2015) "está orientado a incrementar la capacidad científica, tecnológica, de innovación y de competitividad de las regiones", por lo cual, el sector agropecuario se ha visto beneficiado.

Se encontró que los principales financiadores públicos de las ACTI son los fondos parafiscales, el SGR y el MADR (Gráfico 2). Este último ha invertido el 40,73% de los recursos asignados en ACTI en el periodo 2009 – 2014 mediante mecanismos de asignación directa y convocatorias públicas destinados al sector agropecuario que además han tenido una tendencia al alza, lo cual sugiere que la meta del Conpes se ha cumplido, siendo los recursos invertidos por este ministerio los más importantes para las ACTI en el sector. El dinero proviene, esencialmente, de recursos del presupuesto general de la nación y de créditos externos con agencias como el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento y el Banco Interamericano de Desarrollo (Corpoica, 2015). Además, en 2014 el Congreso de la República aprobó la ley 1731, con la cual fortaleció financieramente a Corpoica, decidiendo transferirle anualmente recursos del presupuesto general de la nación, con lo cual se han fortalecido las ACTI en el sector agropecuario.

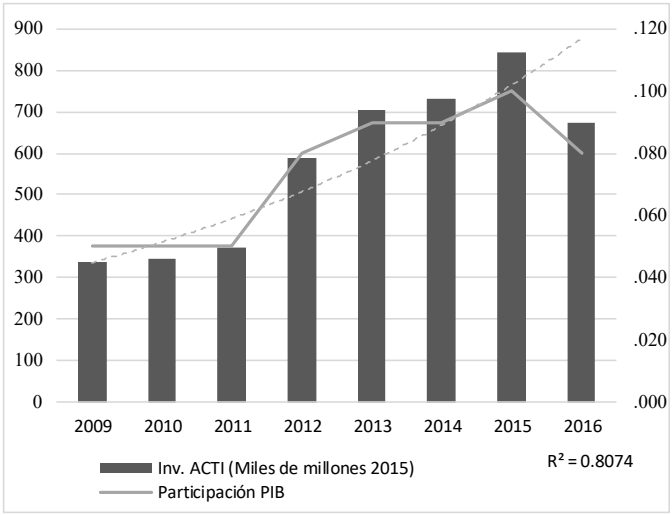

Gráfico 2. Participación de las fuentes de financiación pública de ACTI agropecuaria 2000-2013.
Fuente: Corpoica (2015).

A pesar de que el MADR es el principal financiador, para el subsector hortalizas, el cual contiene a la cadena de cebolla de bulbo, destacan dos financiadores: los recursos provenientes del Sistema General de Regalías (SGR) y los fondos parafiscales. En el primero, los recursos son administrados por los departamentos para que desde allí se direccionen según las prioridades en ACTI que cada uno considere. En el segundo, los recursos son administrados por Asohofrucol, el cual recauda el 1% del valor del comercio de frutas y hortalizas del país, este fue creado como instrumento de fomento y modernización productiva y comercial, por lo que puede utilizar los recursos recaudados en el desarrollo de investigación, transferencia de tecnología, asesoría y asistencia técnica (Corpoica, 2015). Sin embargo, a pesar que el sistema productivo de cebolla de bulbo estuvo priorizado por el gobierno nacional y es una de las hortalizas más importantes, los valores invertidos por Asohofrucol entre el año 2007 y 2014 fueron en promedio anual de $65 294 443 o sea una inversión mensual a nivel nacional de $5 441 204 (Asohofrucol, 2019b), recursos que no han sido suficientes para impulsar el desarrollo competitivo de la cadena.

Entonces, a pesar que la intensidad del gasto en ACTI con relación al PIB aún no llega a los valores esperados para países emergentes y que no se encontró evidencia de inversión directa del MADR en el sistema productivo de cebolla de bulbo en Cundinamarca, se evidencia una importante participación del MADR como inversor con

una tendencia al aumento de la inversión dirigida a investigación para el sector agropecuario. Además, se destaca la creación del fondo de ciencia, tecnología e innovación del sistema general de regalías y la decisión del congreso de la republica que le permitió a Corpoica, contar con un financiamiento constante. Por lo cual, se considera que, en esta categoría, a pesar de los bajos niveles de inversión de Asohofrucol en el sistema productivo de cebolla de bulbo, se avanzó.

Investigaciones

La investigación es generadora de nuevas ofertas tecnológicas y es la fuente principal del crecimiento en la productividad según la OCDE (2011). Para identificar si hubo avance en esta categoría, se revisaron las ofertas tecnológicas generadas específicamente para el sistema productivo de cebolla de bulbo entre 2009 y 2016 en Cundinamarca. Debido a la dificulta para encontrar información específica, esta sección se construyó teniendo en cuenta los datos encontrados en los repositorios de las universidades, que permiten llegar hasta este nivel de especificidad.

El gráfico 3 muestra el número de ofertas tecnologías generadas en el periodo de tiempo estudiado para el sistema productivo de cebolla de bulbo en Cundinamarca, como se aprecia, similar a lo sucedido con las inversiones en ACTI en el periodo 2012 – 2013 se presentó un aumento en el número de investigaciones publicadas, lo cual puede estar relacionado con la puesta en marcha del fondo de ciencia, tecnología e innovación del sistema general de regalías. Además, se evidencia un comportamiento irregular de la tendencia y un bajo nivel de publicaciones, lo cual, puede explicarse porque a pesar de la importancia del sistema productivo de cebolla, no hay una institución en Colombia, ni en Cundinamarca, encargada de investigar de manera constante en estas problemáticas.

El gráfico 3 evidencia un comportamiento irregular en el número de OT generadas, esto puede estar relacionado con la manera en la que se financian las investigaciones, dado que los recursos entregados no son constantes y en su mayoría dependen de las convocatorias que abre el MADR, las convocatorias financiadas por SGR y los fondos parafiscales, los cuales financian proyectos de corto plazo, lo que dificulta la constancia en la investigación en un tema concreto o la realización de proyecto de largo plazo.

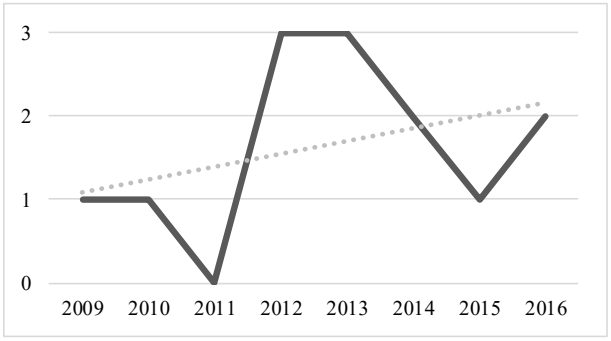

Gráfico 3. Ofertas tecnológicas logradas mientras se ejecutó el Conpes 3527, para el sistema productivo de cebolla de bulbo en Cundinamarca.

Fuente. Elaboración propia con datos de los repositorios de las instituciones que hacen parte del SNCTeI

El gráfico 4 evidencia que el dinamismo de las universidades en el departamento de Cundinamarca es alto, dado que, a pesar de ser un tema específico, se encontraron diferentes instituciones con ofertas tecnológicas relacionadas. Llama la atención que a pesar de que las instituciones privadas no están obligadas a responder a la orientación del MADR sobre su accionar en el marco del sistema de asistencia técnica agropecuaria (Corpoica, 2015), participan de manera notable en la generación de oferta tecnológica para el sistema productivo de cebolla en Cundinamarca.

Teniendo en cuenta la tendencia al alta y que luego de 2012 se generó mayor número de ofertas tecnológicas para el sistema productivo de cebolla de bulbo en Cundinamarca y considerando el dinamismo generado en las universidades, se considera que en esta subcategoría hubo un avance.

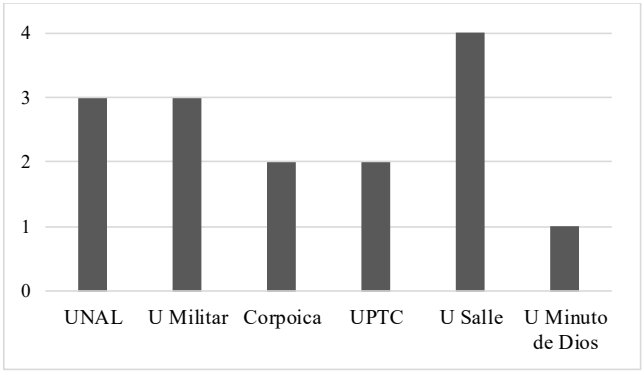

Gráfico 4. Instituciones que generaron ofertas tecnológicas mientras se ejecutó el plan de acción para mejorar la competitividad del Conpes 3527.

Fuente: Elaboración propia con datos de los repositorios de las instituciones que hacen parte del SNCTeI

Asistencia técnica agropecuaria

La herramienta planeada para aumentar los niveles de asistencia técnica agropecuaria para apoyar procesos productivos competitivos en el plan de acción para mejorar la competitividad del Conpes 3527 era el incentivo a la asistencia técnica del programa Agro Ingreso Seguro (AIS), el cual estaba incluido dentro del renovado sistema de asistencia técnica que adoptó el país. Teniendo en cuenta que este nuevo sistema genera dudas y acumula críticas (Perfetti, 2014), en esta sección se presentarán los cambios que se han generado con relación al modelo anterior. Por lo cual, para contrastar estos cambios, se hace explícita la historia de los sistemas de asistencia técnica en dos momentos: anterior al Conpes y mientras este se ejecutó. De la evidencia encontrada en literatura sobre las ventajas o desventajas del cambio, se definirá el valor de esta categoría para el índice.

Asistencia técnica agropecuaria antes del Conpes 3527

El Sistema Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (SNTTA) estaba encargado, como menciona Corpoica (2015), de apoyar a los municipios para que estos prestaran el servicio de Asistencia Técnica Agropecuaria (ATA) a través de las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria –Umatas, este servicio era gratuito para los pequeños productores, quienes en algunos casos se involucraban en las labores de investigación. Los asistentes técnicos municipales recibían capacitaciones del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el cual, entre otras, tenía la función de generar tecnologías. Las secretarías de agricultura departamentales tenían la responsabilidad de coordinar a nivel territorial el sistema y de apoyar a los municipios en sus áreas de jurisdicción. El Fondo de Desarrollo Rural Integrado (DRI) cofinanciaba como menciona Perry (2012) a las Umatas, complementando así los recursos que los municipios destinaban de las transferencias.

Sin embargo, con el debilitamiento de algunos componentes claves, como la investigación participativa, la actualización permanente a los técnicos de las Umatas y la estrategia de fortalecimiento institucional del Programa de Transferencia de Tecnología Agropecuaria Pronata, el SNTTA comenzó a desarticularse (Corpoica, 2015). Por lo cual, para su remplazo se crearon los Centros Provinciales de Gestión Agroempresarial (CPGA), los cuales deberían prestar asesoría integral a los productores agropecuarios de un conjunto de municipios que se debían agrupar voluntariamente por provincias (Corpoica, 2015). La prestación del servicio debería hacerse a través de las Empresas Prestadoras de Servicios de Asistencia Técnica Agroempresarial (Epsagro), las cuales sustituirían a las Umatas que debían desaparecer.

Asistencia técnica agropecuaria mientras se ejecutó el Conpes 352

Con la creación de los CPGA, se esperó que las Umatas desaparecieran. Sin embargo, los CPGA no pudieron consolidarse en la mayoría de regiones del país y muchos municipios se resistieron a eliminar sus Umatas (Corpoica, 2015), pese a esto, el intento de creación de los CPGA condujo al debilitamiento de las Umatas y a su desaparición en varios municipios, lo cual llevó a pasar de un SNTTA dinámico, participativo, de carácter local, pero costoso, a una estructura centralizada de bajo alcance y muy desorganizada. Como consecuencia para 2015, las Epsagro estaban desarticuladas de una entidad que les permitiera una permanente actualización de sus conocimientos, tecnologías y metodologías, por lo que se había generado una ruptura entre las instituciones que generaban tecnología e investigación y los productores que la requerían.

Esta situación generó confusión en los roles y alcances que debían cumplir las instituciones involucradas en los procesos de innovación y desarrollo en el sector agropecuario. Además, aunque en la norma se establecía la coordinación entre organizaciones públicas y privadas para efectos de la prestación del servicio ATA, a 2015 no se evidenciaba alguna instancia que hiciera esa coordinación. De hecho, a 2015 "no se había aclarado la ambigüedad de la normativa respecto a las fuentes de financiamiento de la asistencia técnica agropecuaria en sus diversos niveles" (Corpoica, 2015). La principal fuente de recursos para promover los servicios en los municipios proviene del Gobierno Central, a través del programa DRE, en donde se enmarcan en el renglón de apoyos a la competitividad.

Teniendo en cuenta lo reportado por literatura, se evidencia que la propuesta del desmonte del SNTTA que se estaba consolidando antes de que iniciara el Conpes 3527, fue equivocada. Por lo anterior, a pesar de que Cundinamarca es el departamento con más Epsagros habilitadas del territorio nacional y el que cuenta con más de estas financiadas por el Incentivo Económico a la Asistencia Técnica Directa Rural (Perfetti, 2014), se considera que el enfoque que tomó el Conpes 3527 al presentar como, herramienta, la financiación de un instrumento tendiente a fortalecer el nuevo modelo de transferencia agropecuaria, fue equivocado. Por lo tanto, se considera que para esta categoría hay un retroceso.

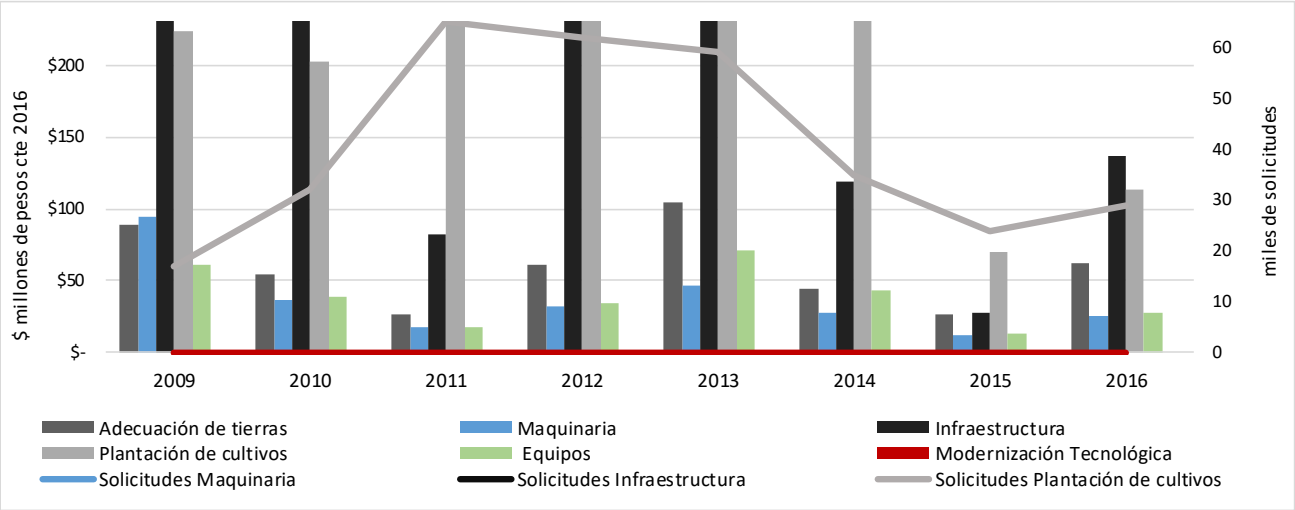

Gráfico 5. Dinámica de las líneas del ICR financiadas por Finagro en Cundinamarca entre 2009 – 2016. Montos entregados y número de solicitudes registradas por línea.
Fuete: Elaboración propia con datos Finagro, (2020). Pesos constantes (base 2016).

Líneas de créditos especiales

Se estudió la dinámica del Incentivo a la Capitalización Rural (ICR), financiado por Finagro, dado que el Conpes 3527 se propuso desarrollar líneas de crédito de innovación tecnológica, las cuales son impulsadas para aumentar la promoción de la adopción tecnológica en el sector agropecuario. El incentivo a la capitalización rural ICR es un subsidio que financia el Gobierno Nacional a través de Finagro para que se realicen proyectos en este sector tiene varias líneas de inversión. En el Conpes 3527 se propuso implementar la línea para innovación tecnológica. Sin embargo, a pesar de que Finagro creó esta línea, desde 2009 hasta 2016, no hubo colocación de dineros, ni se registraron solicitudes de crédito por medio de esta (Gráfico 5), en contraste la mayor cantidad de solicitudes se realizó a través de líneas tradicionales, que no incentivan la adopción de nuevas tecnologías.

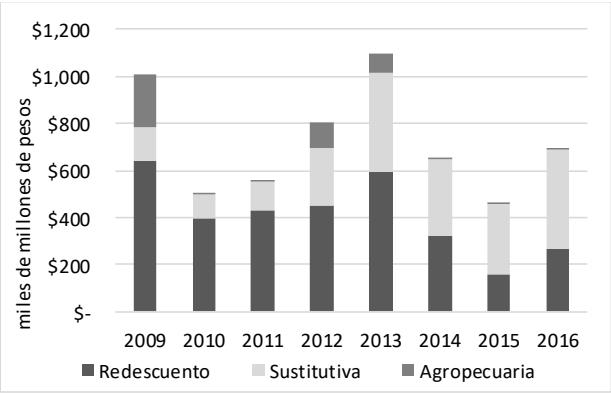

Gráfico 6. Valor y número de créditos entregados por Finagro con destinación exclusiva al sistema productivo de cebolla de bulbo.
Fuente: Elaboración con datos Finagro, 2020. Pesos constantes (base 2016).

A pesar de que la línea de modernización tecnológica no despegó mientras se ejecutó el Conpes3527, en el periodo de estudio los productores de cebolla de bulbo solicitaron créditos agropecuarios (Gráfico 6). Los dineros entregados para financiar estos créditos están soportados en el Sistema Nacional de Crédito Agropecuario (SNCA) creado a través de la ley 16 de 1990 la cual tiene como función la formulación de la política de crédito para el sector agropecuario y la coordinación y racionalización del uso de sus recursos financieros (Ley 16, 1990). Este sistema se fondea a través de tres fuentes diferentes (Gráfico 7):

Recursos de redescuento (cartera redescontada), entendidos como aquellos créditos colocados por los intermediarios financieros con recursos del Fondo para el financiamiento del sector agropecuario (Finagro); ii) recursos propios de los intermediarios financieros en sustitución de inversiones obligatorias en Títulos de Desarrollo Agropecuario-TDA (cartera sustitutiva); iii) recursos propios de los intermediarios financieros no validados como cartera sustitutiva, pero que para su otorgamiento se requiere acceder a garantías del Fondo Agropecuario de Garantías (FAG) o a incentivos o subsidios de tasa de interés otorgados por el Gobierno Nacional de acuerdo a la normatividad vigente (cartera agropecuaria) (Estrada *et al*., 2016).

Los dineros disponibles para la colocación de créditos que utiliza la cartera de redescuento han venido disminuyendo (Gráfico 7). Esto resulta importante debido a que los recursos de la cartera redescontada son utilizados mayoritariamente para la colocación de créditos a pequeños productores, los cuales para este caso son los de mayor importancia, pues conforman la mayoría de los productores de cebolla de bulbo de Cundinamarca. El aumento de los créditos validados como cartera sustitutiva que los intermediarios financieros hacen

(mayoritariamente a grandes inversores), implica "que Finagro obtiene una menor cantidad de recursos provenientes de TDA (una de sus principales fuentes de ingresos) y una disminución de la liquidez de la institución, reduciendo de esta forma los recursos disponibles para colocar créditos de redescuento" (DNP, 2014). Lo anterior puede explicar la variabilidad en la asignación de recursos a pequeños productores de cebolla a pesar de la tendencia al alza en el número de solicitudes (Gráfico 6), además esta situación ha puesto en aprietos la liquidez de Finagro, que para finales del periodo de estudio estaba preparando una reforma al SNCA, para evitar iliquidez.

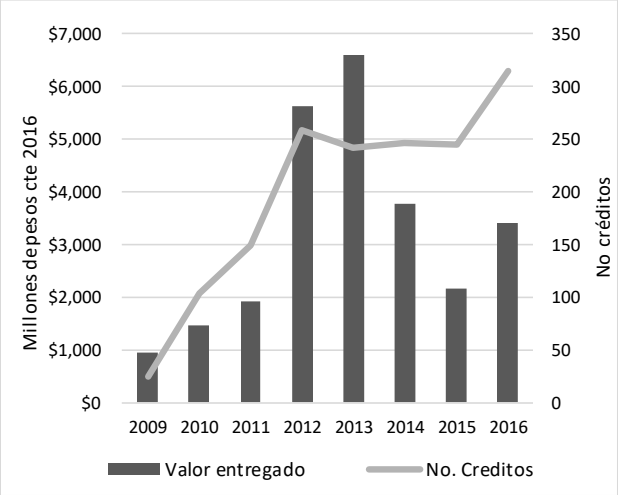

Gráfico 7. Créditos Finagro otorgados para cada cartera en Cundinamarca.

Fuente: Elaboración propia con base en datos Finagro (2020). Pesos constantes (base 2016)

Pese a que hubo colocaciones de recursos del SNCA al sistema productivo de cebolla de bulbo en Cundinamarca los recursos de la cartera de redescuento entre 2009 y 2016 han tenido tendencia a la baja y la implementación de la línea modernización tecnológica no tuvo asignaciones. Por lo tanto, se considera que para esta categoría hay un retroceso.

Operación del índice

$$f(x) = \left(\frac{A}{2} * a + Dd\right) + \left(Ccb + Bb + \left(\frac{D}{2} * d\right)\right) + Ee \quad (1)$$

$$f(x) = \left(\frac{21.47}{2} * 1 + (20.93)(-1)\right) + ((20)(1)(1) + (19)(1) + (\frac{20,93}{2} * -1)) + (18.6)(-1)$$

$$f(x) = -0.27$$

El resultado en el índice para la promoción de la adopción de tecnología es negativo, lo cual indica que las herramientas diseñadas en el Conpes 3527 para mejorar el comportamiento de este determinante de la competitividad no lograron su objetivo. Sin embargo, la magnitud del índice es pequeña, lo que indica que el nivel de retroceso no fue mayor. Tres de las categorías presentaron avances y un comportamiento positivo. Sin embargo, los mayores retos se presentaron en dos categorías, entre las cuales está una de las categorías con mayor peso, la asistencia técnica. Las líneas de créditos especiales y la asistencia técnica agropecuaria, mostraron un retroceso que llevaron el índice a un valor negativo.

Aciertos

i. La construcción de agenda de investigación para identificar los problemas tecnológicos priorizados por sistemas productivos en territorios específicos, con una frecuencia definida (5 años), como en el caso de cebolla de bulbo en Cundinamarca y publicados en una plataforma web pública, permitió un avance en la promoción de la adopción de tecnologías y es un instrumento que permite focalizar esfuerzos y recursos para solucionar los problemas en el sub-sector hortícola.

ii. Para la financiación de las investigaciones, la puesta en marcha del fondo de ciencia, tecnología e innovación del SGR, el cual le permite a los departamentos priorizar sus inversiones en ACTI; la financiación directa de Corpoica (hoy Agrosavia), institución que cuenta con un centro de investigación en Cundinamarca; y el esfuerzo tendiente al aumento de las inversiones del MADR en ACTI permitió un avance en la promoción de la adopción de tecnologías en el sub-sector hortícola.

iii. La articulación del SNCTeI en donde las universidades públicas y privadas y los centros de investigación son actores claves en el desarrollo de la investigación y su continuo crecimiento en esta labor permitió un avance en la promoción de la adopción de tecnologías y permiten un entorno investigativo dinámico en el sub-sector hortícola.

Desaciertos

i. La manera en la que están escritas las demandas de investigación para el sub-sector hortícola es muy general, lo cual lleva a diversas interpretaciones, por lo cual deben escribirse de manera puntual.

ii. A pesar del incremento en la inversión en ACTI, no se llega a los niveles de inversión que se espera para países emergentes, que es cercano al 1% del PIB. Y aunque el Ministerio de Agricultura es uno de los principales actores en la inversión de ACTI, los proyectos en los que se tienden a invertir estos recursos son de corto plazo, por lo cual se requiere un mayor nivel de inversión y fuentes con un presupuesto más estable que permita a los actores del SNCT competir por recursos de inversión a largo plazo.

iii. No hay un instrumento de coordinación de las investigaciones para el subsector hortícola.

iv. El enfoque que tomó el Conpes 3527 al presentar como herramienta la financiación de un instrumento tendiente a fortalecer el modelo de transferencia agropecuaria a través

de Epsagro, generó desorden en el sistema de transferencia agropecuaria y una desconexión entre la oferta y la demanda de soluciones técnicas para el sector agropecuario, por lo cual, se produjo un retroceso importante en la promoción de la adopción de tecnologías.

v. La línea de crédito de ICR para modernización tecnológica, como instrumento del plan de acción para mejorar la competitividad que pretendió apalancar la adopción de tecnologías para mejorar productividad, no se implementó en el subsector hortícola, por lo que se requiere una línea de crédito para pequeños productores, con tasas de interés bajas, que les permita acceder a nuevas tecnologías.

El mercado presenta oportunidades de crecimiento a nivel nacional e internacional. Sin embargo, existen tres importantes desafíos que se deben superar: primero, como menciona la CCI (2012) es un sistema "fuertemente atomizado, con poca vocación empresarial o gremial", lo que dificulta las posibilidades de adopción de tecnología; segundo, la institucionalización de la cadena está representada por Asohofrucol, organización que agremia a productores de frutas, hortalizas, plantas aromáticas, especias, medicinales, raíces y tubérculos (Asohofrucol, 2019a), y que por la cantidad de cadenas agroalimentarias que agremia, enfrenta retos para la representación de todas estas, y tercero, según la Delegatura de Protección de la Competencia (2011), la integración vertical es prácticamente inexistente, los intereses de los eslabones no están coordinados y en las transacciones presentan altos niveles de informalidad, actitudes oportunistas e incertidumbre, lo cual provoca un aumento en los costos de transacción.

CONCLUSIONES

En conclusión, a pesar de que el índice de la promoción de la adopción de tecnología dio un resultado negativo en la aplicación de las herramientas utilizadas por el Conpes3527, se encontraron tres aciertos y cuatro desaciertos.

LITERATURA CITADA

Agronet. 2018. Estadísticas agrícola Área producción y rendimiento. Bogotá Colombia: Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Disponible en:https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1

Arredondo, S. y Hernández, D. 2012. La integración productiva como factor de competitividad en el sector agropecuario colombiano. Libre Empresa, 17: 83–97.

Asohofrucol(a). 2019. Leyes y decretos reglamentarios, cuota de fomento hortifrutícola. Disponible en:http://www.asohofrucol.com.co/archivos/Recaudo/WEB_01_PNFH_CARTILLA_leyes&Decretos_2019.pdf

Asohofrucol(b). 2019. Ejecución presupuestal por producto 2007 – 2014. Disponible en:http://www.asohofrucol.com.co/imagenes/Inversion%20por%20producto%202007-2014.pdf

Banco Mundial. 2007. Doing Business 2007, Comparing regulation 175 economies. Disponible en:https://www.doingbusiness.org/content/dam/doingBusiness/media/Annual-Reports/English/DB07-FullReport.pdf

Benavides, S., Muñoz, J. y Parada, A. 2004. El enfoque de competitividad sistémica como estrategia para el mejoramiento del entorno empresarial. Economía y sociedad. 24:119-137.

Byerlee, D., De Janvry, A., Sadoulet, E., Townsend, R., Klytchnikova, I. 2008. World Development Report 2008: Agriculture for Development. World Development Report; no. 30. Washington, D.C.: World Bank Group. Disponible en:http://documents.worldbank.org/curated/en/2007/01/8711994/world-developmentreport-2008-agriculture-development

Cano, C. 2016. Reflexiones e hipótesis sobre el sector agropecuario, a manera de introducción. En: C. Cano, A. Iregui, M. Ramírez, & A. Tribín (Eds.), El desarrollo equitativo, competitivo y sostenible del sector agropecuario en Colombia (p. 170). Bogotá: Banco de la República. Disponible en: https://babel.banrepcultural.org/digital/collection/p17054coll18/id/282

Conpes (Consejo Nacional de Política Económica y Social) 3297. 2004. Agenda interna para la productividad y la competitividad, Bogotá D.C.

Conpes (Consejo Nacional de Política Económica y Social) 3527. 2008. Política nacional de competitividad y productividad, Bogotá D.C.

Conpes (Consejo Nacional de Política Económica y Social) 3668. 2010. Informe de seguimiento a la política nacional de competitividad y productividad, Bogotá D.C,

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Agrosavia], 2015. Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sector Agropecuario (Diagnóstico para la Misión para la Transformación del Campo). Bogotá D.C. Disponible en: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Agriculturapecuarioforestal%20y%20pesca/Diagn%C3%B3stico%20de%20la%20Ciencia,%20Tecnolog%C3%ADa%20

e%20Innovaci%C3%B3n%20en%20el%20Sector%20Agropecuario-CORPOICA.pdf

Corpoica (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 2010. Agenda de investigación, desarrollo tecnológico e innovación del departamento de Cundinamarca. Disponible en:https://repository.Agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12022/110872_67836.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CCI (Corporación Colombiana Internacional). 2012. Cebolla. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Colombia.

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2016. El cultivo de la cebolla cabezona frente a condiciones de alta humedad. Bogotá.

Delegatura de Protección de la Competencia. 2011. Estudios de Mercado. Cadena Productiva de Las Hortalizas En Colombia: Diagnóstico de Libre Competencia (2009-2011).

DNP (Dirección Nacional de Planeación). 2014. Sistema nacional de crédito agropecuario. En: Misión para la transformación del campo. 64p. Disponible en: https://www.dnp.gov.co/programas/agricultura/Paginas/Informes-misi%C3%B3n.aspx

Echavarría, J. J., Esguerra, P., Mcallister, D., & Robayo, C. F. 2016. Principales conclusiones de la misión de estudios para la competitividad de la caficultura en Colombia Juan. En: C. Cano, A. Iregui, M. Ramírez, & A. Tribín (Eds.), El desarrollo equitativo, competitivo y sostenible del sector agropecuario en Colombia (p. 170). Bogotá: Banco de la República. Disponible en: https://babel.banrepcultural.org/digital/collection/p17054coll18/id/282

Esser, K., Hillebrand, W., Messner, D. y Meyer-Starner, J. 1996. Competitividad sistémica: Nuevo desafío para las empresas y la política. Revista De La CEPAL. 59:39-52.

Estrada, D., Tobón, S. y Zuleta, P. 2016. La inversión obligatoria y el crédito agropecuario en Colombia. En Cano, C., Ramírez, M., Tribín, A. y Iregui, A. (Eds.), El desarrollo equitativo competitivo y sostenible del sector agropecuario en Colombia (pp. 239 -278). Bogotá, Colombia: Banco de la República. Disponible en: https://babel.banrepcultural.org/digital/collection/p17054coll18/id/282

Fajnzylber, F. 1988. Competitividad Internacional, Evolución y Lecciones. Revista De La CEPAL. 36:7-24.

Fernández, D., Piñeros, J. y Estrada, D. 2011. Financiamiento del sector agropecuario: situación y perspectivas. Temas de Estabilidad Financiera. 59:1-52.

Finagro. 2020. Estadísticas finagro. Disponible en:https://www.finagro.com.co/estad%C3%ADsticas/estad%C3%ADsticas

Foro Económico Mundial, 2006. The global competitiveness report 2006-2007. Disponible en:http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2006-07.pdf

García, G. 2008. La inserción de México en la arquitectura cambiante de redes del suministro del vestido hacia Estados Unidos 1985-2003. Disponible en: https://www.google.com/search?rlz=1C1GCEU_enCO849CO849&tbm=bks&q=inauthor:%22Guadalupe+Garc%C3%ADa+de+Le%C3%B3n+P.%22&sa=X&ved=2ahUKEwjTn-zdnerkAhWhtVkKHU29CBMQ9AgwAnoECAkQAw

Junguito, R., Perfetti, J. y Becerra, B. 2014. Desarrollo de la agricultura Colombiana. Cuadernos fedesarrollo. 481-65.

Ley 1731. 2014. Por medio de la cual se adoptan medidas en materia de financiamiento para la reactivación del sector agropecuario, pesquero, acuícola, forestal y agroindustrial, y se dictan otras disposiciones relacionadas con el fortalecimiento de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Medeiros, V., Gonzalves, L. y Camargos, C. 2019. La competitividad y sus factores determinantes: un análisis sistémico para países en desarrollo. Revista CEPAL. 129:8-27.

Melo-Becerra, L., Orozco-Gallo, A. 2016. Eficiencia técnica de los pequeños productores agropecuarios en Colombia: una aplicación de metafrontera estocástica. En: C. Cano, A. Iregui, M. Ramírez, & A. Tribín (Eds.), El desarrollo equitativo, competitivo y sostenible del sector agropecuario en Colombia (p. 170). Bogotá: Banco de la República. Disponible en:http://www.urosario.edu.co/Mision-Cafetera/Archivos/Mision-de-estudios-para-competitividad-de-la-Cafic/

OCDE. 2011. Fostering Productivity and Competitiveness in Agriculture. DOI: https://dx.doi.org/10.1787/9789264166820

Peñaloza, M. 2007. Tecnología e innovación factores claves para la competitividad. Actualidad Contable Faces. 10(15):89-94.

Perfetti, J. 2014. Diagnóstico de la asistencia técnica agropecuaria (ata): brechas tecnológicas, capacidades de investigación y entidades prestadoras del servicio de asistencia técnica agropecuaria (Epsagros). FEDESARROLLO. Bogotá. 299 p. https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/3647

Perfetti, J., Balcázar, A., Hernández, A. y Leibovich, J. 2013. Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia. Disponible en:https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/61/LIB_2013_Pol%C3%ADticas%20para%20el%20desarrollo%20de%20la%20agricultura_Completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Perry, S. 2012. Informe final sobre Extensión Rural en Colombia. Presentado 6 de septiembre 2012. Banco Mundial, Bogotá. Disponible en: http://documents1.worldbank.org/curated/en/966051530280042573/text/Public-policy-strategy-for-integrated-management-of-agricultural-risks-in-Colombia.txt.

Pinzón, H., Ospina, J., Baez, A., & Flórez, R. 2006. Curado y almacenamiento de cebolla en bulbo. Bogotá Colombia: Sena, Corpoica, Universidad Nacional.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2011. Colombia rural: razones para la esperanza, Informe Nacional de Desarrollo Humano. Disponible en: http://hdr.undp.org/sites/default/files/nhdr_colombia_2011_es_low.pdf

Ramírez, J., Perfetti, J., y Bedoya, J. 2016. Estimación de brechas tecnológicas y sus determinantes en el sector agropecuario colombiano. En: C. Cano, A. Iregui, M. Ramírez, & A. Tribín (Eds.), El desarrollo equitativo, competitivo y sostenible del sector agropecuario en Colombia (p. 170). Bogotá: Banco de la República. Disponible en: https://babel.banrepcultural.org/digital/collection/p17054coll18/id/282

Sanabria, N., Puentes, G. y Cleves, J. 2014. Análisis de grupo y evaluación financiera de unidades productivas de cebolla de bulbo (*Allium cepa L.*) en el distrito de riego del alto Chicamocha (Boyacá-Colombia). Revista de investigación agriaría y ambiental. 5(1): 243 – 254.

Siembra. 2019. Demandas red hortalizas (cebolla de bulbo) en Cundinamarca. Disponible en: http://www.siembra.gov.co/Demandas/Demanda/Reporte

Siembra. 2020. Índicees de inversión pública en el sector agropecuario. Disponible en: http://www.siembra.co/Índicees/Índice/DetalleContenido

Silva, I. 2005. Desarrollo económico local y competitividad territorial en América Latina. Revista de la CEPAL. 85:81-100.

Zevallos, E. 2011. Políticas e instrumentos municipales para la promoción del emprenderismo, mipymes y fortalecimiento de las cadenas de valor territoriales. En Fundación para el Desarrollo Local y el Fortalecimiento Municipal e Institucional de Centroamérica y el Caribe [DEMUCA]. (Ed.), Políticas Locales para la promoción del Empleo (pp. 117 – 191). San José, Costa Rica: Demuca. https://www.researchgate.net/publication/309311758

Zuluaga, D. 2016. Productividad agrícola de la mujer rural en Colombia: ¿restricciones o decisiones? En Cano, C., Ramírez, M., Tribín, A. y Iregui, A. (Eds.), El desarrollo equitativo competitivo y sostenible del sector agropecuario en Colombia (pp. 239 -278). Bogotá, Colombia: Banco de la República. Disponible en: https://babel.banrepcultural.org/digital/collection/p17054coll18/id/282

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

MIGRACIÓN QUÍMICA DESDE ENVASES FABRICADOS CON POLIPROPILENO HACIA ALIMENTOS GRASOS

CHEMICAL MIGRATION FROM CONTAINERS MANUFACTURED WITH POLYPROPYLENE TOWARDS FATTY FOODS

Miguel Alejandro Tuárez-Párraga[1 3], Mabel Leonela Laz-Mero[1 2], Rosa Alexandra Córdova-Mosquera[2], Jacqueline Verónica Conforme Montesdeoca[4]

[1]Posgrado Agroindustria. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria Manabí. Sitio El limón, Calceta, Manabí – Ecuador
[2]Departamento de Procesos Químicos. Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí. Av. Urbina y Ché Guevara. Portoviejo, Manabí – Ecuador
[3]La Fabril S.A. Ubicación: Montecristi, Km 5 ½ vía Manta, Manabí – Ecuador
[4]Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Av. Circunvalación, vía San Mateo, Manta, Manabí – Ecuador

Email: alejandro_tuarez@hotmail.com / miguel_tuarez@espam.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo de revisión

Recibido:
07/01/2022

Aceptado:
16/06/2022

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
13(1):52-69

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i1.286

Resumen

Los alimentos procesados presentan migración de compuestos químicos posterior al proceso de envasados, siendo así que los principales migrantes provienen desde envases plásticos, en los cuales se agregan múltiples aditivos para mejorar las propiedades funcionales de los polímeros e incorporarlos dentro de procesos de transformación y posterior uso en plantas envasadoras. Adicionalmente el uso de nuevos materiales ha aumentado y con ello el número de peligros que están incorporados dentro de su estructura química por lo cual el presente estudio tiene con objetivo identificar posibles compuestos químicos que migran desde envases fabricados con materiales plástico a base de resina polipropileno (PP) que se usan para estar en contacto directo con alimentos grasos. Debido a lo expuesto previamente, se realizó una investigación de tipo revisión bibliográfica identificando la lista de compuestos químicos con potencial riesgo hacia la salud del consumidor, siendo los compuestos de bajo peso molecular uno de los problemas más importante, sin embargo, este tipo de materias primas siguen ganando terreno en el mercado, de los resultados obtenidos de varias investigaciones muestran que el 83% migración de compuestos químicos proviene de mezcla entre (Irganox 1076, Irganox 1010 e irgafos168). De esta manera esta investigación constituye una fuente de información bibliográfica importante para realizar un estudio especializado sobre migración de compuestos hacia los alimentos y punto de partida para implementar seguimientos o regulaciones sobre compuestos migrantes en envases de PP en el Ecuador.

Palabras clave: Migración plástica, polipropileno, empaques para alimentos, migración específica, migración global.

Abstract

Processed foods present migration of chemical compounds after the packaging process, and the main migrants come from plastic containers, in which multiple additives are added to improve the functional properties of polymers and incorporate them into transformation processes and subsequent use in packing plants. Additionally, the use of new materials has increased and with it the number of hazards that are incorporated into its chemical structure, which is why this study aims to identify possible chemical compounds that migrate from containers made of plastic materials based on polypropylene resin (PP) that are used to be in direct contact with fatty foods. Due to the above, a bibliographic review type investigation was carried out, identifying the list of chemical compounds with potential risk to the health of the consumer, being low molecular weight compounds one of the most important problems, however, this type of raw materials continues to gain ground in the market, from the results obtained from various investigations show that 83% migration of chemical compounds comes from mixing between (Irganox 1076, Irganox 1010 and irgafos168). In this way, this research constitutes a source of important bibliographic information to carry out a specialized study on the migration of compounds into food and a starting point to implement monitoring or regulations on migrating compounds in PP containers in Ecuador.

Keywords: Plastic migration, polypropylene, food packaging, specific migration, global migration.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los alimentos son envasados en diferentes tipos de empaques manteniendo una interacción permanente con el producto, por esta razón, existen diversos tipos de investigaciones para minimizar pérdidas de las características organolépticas y mejorar su *shelf life* (Simoneau, 2008); (Reglamento de Comisión Europea No 10, 2004). De tal manera Vitrac y Hayert (2005); Fakirov (2021) refieren que, durante los últimos años, la exposición de los materiales de envasado con los alimentos, atrayendo la atención pública e interés de las autoridades reguladoras europeas, debido a las elevadas concentraciones de sustancias liberadas desde los materiales de empaques hacia productos alimenticios.

Siendo así, que esta interacción es un aspecto importante a controlar para garantizar la seguridad alimentaria durante el envasado de productos y el uso de plásticos en contacto con alimentos. Así mismo, los aditivos que se utilizan para mejorar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los polímeros que pueden moverse libremente dentro de la cadena polimérica, de modo que, existe el riesgo de migración de compuestos químicos desde el envase hacia el producto contenido en su interior (Helmroth *et al*., 2002); (Chea *et al*., 2015).

Se debe agregar que Garde *et al*. (2001) consideran que la migración es un proceso de transferencia de masa mediante el cual las sustancias de bajo peso molecular presentes en el empaque se liberan al medio ambiente o al producto contenido, dependiendo de muchos factores tales como: tipos de polímero, condiciones de tiempo, temperatura fijas, tipo de alimento, espesor de envase, grado de polimerización, entre otros, destacando que la migración suele ser mayor hacia los alimentos grasos (Feigenbaum *et al*., 1995) (VomBruck *et al*., 1981).

Por otro lado, varios autores como Dangaran y Krochta (2007); Robertson (2012) indican que para la fabricación de los envases se utilizan materiales como: papel, metal, cerámica, aluminio, vidrio y plástico, siendo así que este último, presenta una creciente demanda evidenciada por la aceptación de los consumidores, y por ende el crecimiento de la fabricación de resinas plásticas, de tal manera que Plastics-The Facts (2019) en su informe reporta que la producción mundial por año es 368 millones de toneladas (Mt) de plástico, con 19,4% de participación del polipropileno, equivalente a 71,39 (Mt); y, por consiguiente, el 39,6% (28,27 Mt) tiene una aplicabilidad extensa en la fabricación de envases para diversos tipos de productos, por otra parte Ecuador no es la exención de tal manera que el PP es el material más importado siendo así que el BCE (BC, 2022) reporta 105 736 Toneladas(Tn) durante el 2021.

Después de todo, para aumentar el interés de los alimentos envasados en los consumidores, se ofertan envases que garanticen las características funcionales durante su venta y posterior distribución (Robertson, 2012), manteniendo los valores nutricionales (Çinibulak, 2010), debido a la excelente barrera para el gas, el agua, y otros compuestos ofreciendo buena protección a los productos (Simoneau, 2008).

Adicional a esto Fouad *et al*. (1999); Lau y Wong (2000) sostienen que existen debates sobre el uso del plástico, debido a la estrecha relación con problemáticas demostradas en áreas sanitarias y ambientales, por lo cual para armonizar la legislación, la UE (Unión Europea) y la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos) iniciaron controles globales a través de listas positivas de sustancias que pueden ser utilizadas, al mismo tiempo se restringen otras sustancias con potencial tóxico (Arvanitoyannis y Bosnea, 2004).

Sin embargo, los laboratorios proporcionan resultados utilizando técnicas de la migración de compuestos a manera global, y a pesar de aquello, se desconoce la composición especifica de dichos migrantes (sustancias químicas) desde los empaques de polipropileno hacia los alimentos grasos. Por lo que, la presente investigación pretende identificar los principales factores y posibles compuestos migrantes desde los envases hacia los alimentos, en diferentes condiciones térmicas con alimentos grasos o simulantes equivalentes, lo cual constituye potencial información para investigaciones y delimitación de parámetros para implementar futuras regulaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de la investigación fue de tipo revisión bibliográfica, apoyados de fuentes primarias, secundarias y terciaras (Guirao *et al*., 2008), donde se abordaron temáticas como migración de compuestos de envases fabricados en polipropileno hacia alimentos grasos. Cortés (2020); Gómez *et al*. (2014) señalan que la revisión bibliográfica puede ser aplicada a cualquier tema de investigación, en las que se reúnen, analizan y discuten informaciones ya publicadas, cuya finalidad esencial es la de comunicar los resultados de investigaciones, ideas y debates de una manera clara y concisa (Cué *et al*., 2008).

Para la búsqueda de información se consideraron artículos científicos y libros publicados desde 1975 hasta 2021; cuya búsqueda se realizó a través de las bases de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Plásticos

Los plásticos son compuestos orgánicos, conocidos también como polímeros sintéticos, al tener su origen en el petróleo, son materiales formados por la unión de moléculas de hidrocarburos denominadas monómeros (Seymour y Carraher, 2021), que a su vez a través del

proceso de polimerización reaccionan formando cadenas largas, unidas principalmente por enlaces covalentes (Crespo, 2013); (Chanda, 2021). Unas de las características principales de los plásticos se constituyen por la repetición continua de una determinada unidad estructural, lo cual hace que su fabricación sea relativamente sencilla y de bajo costo (Espinoza y Naranjo, 2014).

Las propiedades de los plásticos varían en relación al tipo de polímero que lo constituye, debido a que su naturaleza química interviene en ciertas particularidades (Molinari, 2016). Así, comparten de manera general las siguientes propiedades: plasticidad, conductividad eléctrica, conductividad térmica y resistencia mecánica (Villalta, 2018); (Agueda *et al*., 2015); (Beltrán y Marcilla, 2012).

Clasificación

Existe una gran variedad de materiales diseñados para satisfacer las múltiples necesidades (Arandes *et al*., 2004), los plásticos al ser polímeros de constitución variada se pueden clasificar con base a diferentes parámetros como el tipo de degradación que sufren, el mecanismo de polimerización, su estructura molecular, entre otros (Dulebová y Greškovi, 2011). Una de las clasificaciones más notables es el comportamiento que sufren los plásticos frente al calor (Majewski y Zawadzki, 2013). Conforme a esto, los plásticos se agrupan en tres categorías (Crespo, 2013).

Elastómeros

Los elastómeros termoplásticos a bajas temperaturas presentan conductas elásticas y en altas temperaturas tienen conductas termoplásticas (Bobadilla *et al*., 2022), son materiales con poca resistencia al calor y al ser expuestos a temperaturas medias sufren degradación, comúnmente se conoce el neopreno, la silicona, goma natural, entre otros (Arce y Suarez, 2017).

Termoestables

Exhiben estructura molecular reticulada, brindando gran rigidez, una vez terminado el proceso de moldeo cambian irreversiblemente (Gálvez, 2016), es decir, que no pueden ser reprocesados a su forma original debido a que no se ablandan al ser sometidos a una fuente de calor (Morocho, 2019), presentan buena resistencia química, son insolubles (Montero y Mejía, 2008); (Crespo, 2013).

Termoplásticos

Son polímeros con enlaces covalentes de estructura lineal con o sin ramificaciones (Kalpakjian y Schmid, 2002). Presentan solubilidad en determinados disolventes orgánicos porque no tienen entrecruzamientos (Elías y Jurado, 2012). Además, se puede fundir y solidificar aplicando calor de manera reversible y volver a su estado original una vez fríos (Cornejo *et al*., 2020). Con lo cual, las moléculas pueden moverse y modificar su estructura o apariencia; por tal motivo, son materiales idóneos para el reciclaje (Beltrán y Marcilla, 2011); (Plastics-The Facts, 2017). Cabe destacar que estos polímeros se codifican acorde a la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) del 1 al 7, detallados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de materiales según la Sociedad de la Industria de Plásticos

Material	Descripción	Abreviación	Designación para reciclaje
Polietilenter eftalato	Poliéster termoplástico en el cual el grupo tereftalato es una de las unidades estructurales repetidas en la cadena polimérica	PET (PETE)	1
Polietileno de alta densidad	Plástico de cadena polimérica lineal formada por etileno como el monómero predominante con densidad mayor 0.94 g/cm3	PEAD (HDPE)	2
Policloruro de vinilo	Plástico basado en polímeros de cloruro de vinilo o copolímeros de cloruro de vinilo, con otros monómeros, donde el cloruro de vinilo es la mayor parte de la masa	PVC (PVC)	3
Polietileno de baja densidad	Plástico de cadena polimérica lineal formada por etileno como el monómero predominante con densidad mayor 0.91 g/cm3	PEBD (LDPE)	4
Polipropilen o	Plástico basado en polímeros fabricados con propileno como monómero predominante	PP (PP)	5
Poliestireno	Plástico basado en polímeros fabricados con estireno o copolímeros de estirenos, donde el estireno es la mayor parte de la masa	PS (PS)	6
Otros	Otros materiales sólidos en su estado final y no incluido en anteriores definiciones	Otros (Other)	7

*Entre paréntesis abreviación en inglés.
Fuente: NTE INEN 2634, (2012)

Los termoplásticos representan aproximadamente el 80% de la producción polimérica total (Vázquez *et al*., 2016), siendo el polietileno y el polipropileno los materiales de uso más frecuente y abundante debido a las propiedades que presentan y al costo menor asociado a su producción (Garrido, 2013). Además, aparecen en artículos de duración más larga como: artefactos, tuberías, accesorios, válvulas, partes automotrices y fibras. Por su versatilidad también se utilizan en embalajes rígidos y flexibles, piezas moldeadas, sillas, baldes y más (Morocho, 2019).

Polipropileno (PP)

La demanda mundial del PP se sitúa en 55 millones de toneladas al año (Karian, 2003), desplazando materiales tradicionales metálicos y cerámicos (Amigó *et al*., 2008); (Dorigato, 2021). Shubhra *et al*. (2013) mencionan que el PP pertenece al grupo de las poliolefinas, tiene apariencia parcialmente cristalina, se obtiene con la polimerización del propileno (o propeno), tiene buena resistencia a ataques de productos álcalis y/o ácidos (Pinajota, 2018). Desde otro punto de vista, Sanipatín (2019); Morocho (2019); Abreu *et al*. (2006) argumentan que el PP presentan debilidad durante el impacto, cuando se somete a bajas temperaturas, lo cual induce a la rotura por volverse quebradizo (Fasce, 2005), son inflamables, algunos se degradan por radiación ultravioleta. Por su estructura química este material presenta propiedades físicoquímicas muy deseables (Curtzwiler *et al*., 2019), como las mencionadas en el cuadro 2.

Propiedades del polipropileno (PP)

Por estas propiedades hacen que el PP sea un polímero muy comercial comparado con otros polímeros de similares características; además, es de fácil procesamiento inicial y también en posconsumo haciéndolo ideal para múltiples aplicaciones en diferentes sectores de la industria (Velásquez *et al*., 2021). El PP se clasifica en homopolímeros y copolímeros, que generalmente son utilizados para fabricar envases que van a estar en contacto directo con alimentos, debido a que son químicamente inertes, termosellables y proporcionan una excelente barrera contra el agua (Hernández *et al*., 2001).

Cuadro 2. Propiedades de PP

T_g °C	T_m °C	K W/m-K	Densidad kg/m^3	OTR cc/m^{2}d	WVTR g/m^{2}d	Fuerza de tensión MPa
-18	176	0.22	900	1550 a 2480	6	30 a 38

Fuente: (Robertson, 2012); (Zhang *et al*., 2001)

Homopolímero PP (HPP)

Es obtenido de la polimerización propileno puro y conforme a su tacticidad se definen en 3 tipos: isotáctico, atáctico y sindiotáctico (Karian, 2003); de los cuales el grupo metilo lateral del propileno da a lugar a diversas configuraciones, los grupos laterales pueden quedar en desorden (atácticos), ordenados en la cadena principal sobre la misma dirección (isotácticos) o bien ordenados de forma regular alternamente en sentidos opuestos (sindiotácticos) (Matos *et al*., 2005); (Gnauck y Fründt, 1991).

Copolímero

Tal como lo describe Fernández (2014), los copolímeros de PP (CPP) son dignos de mención con otras olefinas sobre todo con etilenos que incluyen una cantidad próxima al 25% durante su producción, cuando se aumenta el porcentaje de etileno dentro del CPP, disminuye la cristalinidad, la rigidez y fragilidad aumentando la flexibilidad, la resistencia al impacto y la elasticidad del plástico, estos se clasifican de la siguiente manera:

Copolímero aleatorio o random

Es una mezcla de dos cadenas moleculares diferentes; donde, el propileno y el etileno se preparan en un mismo reactor, obteniendo cadenas de polímero, en las que ambos monómeros se alternan de manera aleatoria (Redondo, 2018).

Adicional a esto, los copolímeros aleatorios proporcionan propiedades ópticas significativamente, tales como: una buena rigidez, una importante ductilidad, un aceptable límite elástico y una excelente resistencia química (Pastor, 2016); (Gahleitner *et al*., 2013).

Copolímero en bloques

Un copolímero que se forma cuando los dos monómeros se agrupan y crean grupos. Por lo tanto, en un reactor se lleva a cabo la polimerización del propileno y después, en un segundo reactor, se añade etileno, para ser polimerizado con el PP previamente obtenido (Botha y Van Reenen, 2013). Cabe añadir que también se los conoce como PP impacto o PP choque, debido a que la resistencia al impacto de estos copolímeros es muy alta (Passaretti, 2019).

Aplicaciones

El PP es uno de los polímeros más versátiles que existe, con una gran variedad de aplicaciones, cuyas propiedades varían a medida de la longitud de las cadenas del polímero (peso molecular), de su polidispersidad, de los monómeros eventualmente incorporados (Dopico *et al*., 2007).

De igual manera, Sanipatín (2019) y Peña (2011) agregan que, debido a su excelente combinación de las propiedades como peso ligero y resistencia al impacto, el PP es un polímero ampliamente utilizado para la producción de plásticos moldeados. Las áreas más populares y principales de usos son la industria alimentaria y producción de envases, seguido de la industria química y farmacéutica, entre otras cosas (Abreu *et al*., 2006).

Procesos de transformación de resinas PP en envases

Dentro del proceso de transformación de resinas plásticas, existen un sinnúmero de objetos que pueden ser fabricados como botellas, tapas, tarrinas, tubería, perfiles, entre otros, (Mora *et al*., 2015). Con presencia muy común en el medio industrial con el uso de técnicas como termoformado, inyección, extrusión y compresión (Caicedo *et al*., 2017), con mayor énfasis en la fabricación de piezas rígidas (Hoffman, 2003).

Moldeo por inyección

Wang *et al*. (2019) afirman que es el método más característico de la industria del plástico el cual consiste en fundir un material plástico en condiciones adecuadas (presión, velocidad y temperatura), e introducirlo a presión en las cavidades de un molde donde se enfría a una temperatura apta para que las piezas puedan ser extraídas sin deformarse (Shin y Selke, 2014). En este proceso es de gran importancia las características de los polímeros tales como la masa molecular y distribución, morfología, cristalinidad, estabilidad (García, 2014).

Moldeo por extrusión

Uno de los procesos de producción más comunes en la industria plástica en el cual generalmente utilizan termoplásticos y en ciertas ocasiones termoestables (Vélez y De La Hoz, 2016), también se utiliza para recubrimientos y producción de preformas (Sanipatín, 2019). Los pellets de resinas pasan por una tolva, alimentando el cilindro, que tiene incorporado un husillo para transportar el material previamente fundido hacia la boquilla que mediante la aplicación de presión y velocidad ingresa al molde y toma su forma (Espinoza, 2015).

Moldeo por termoformado

Proceso en el que se utiliza una lámina previamente precalentada la cual pasa por un molde que tiene la forma deseada (hembra-macho), en donde se aplica presión para obtener dicha figura del molde (Morales y Candal, 2006), a este proceso es muy común el uso de vacío para mejorar la confirmación de las figuras del molde, esta tecnología se utiliza para fabricar envases para diversos usos (Flores y Martínez, 2015).

Moldeo por compresión

Es un proceso productivo para piezas con requerimientos de volumen de producción elevado y tiempos de producción cortos (Todo en polimeros, 2017). Se coloca la resina fundida en una cavidad del molde (hembra), ingresa la segunda cavcidad del molde (macho) presionan la resina hasta tomar la forma del molde (Tatara, 2017). Según Yam (2009) a menudo este tipo de proceso proporciona pobre consistencia del producto y dificultad para controlar la rebaba lo cual hace poco adecuado en determinados tipos de piezas.

Migración de compuestos de envases de PP hacia los alimentos

Los compuestos poliméricos que migran desde envases plásticos hacia los diferentes tipos de alimentos son determinados por fenómenos de transferencia de masa, basándose en primer lugar por las leyes de la difusión y la convección (Avendaño *et al*., 2017); (Ferrara *et al*., 2001). La difusión es el proceso mediante el cual la materia se transporta de un lugar a otro dentro del propio sistema y es el resultado de movimientos moleculares aleatorios que ocurren a pequeñas distancias. Adolf Fick, en 1855, fue el primero en intentar cuantificar el proceso de difusión (Manadas *et al*., 2002). El modelo de Fick se basa en flujos de difusión, donde se produce desde el compuesto bioactivo de una región con alta concentración a una baja concentración (Lopes, 2015).

Los coeficientes de difusión y partición son constantes. En polímeros como el polietileno (PE) y PP con bajas temperaturas de transición vítrea (Tg), se puede atribuir que, la migración de sustancias fabricadas a partir de estos materiales obedece a las leyes de Fick (Brandsch *et al*., 2020); (Begley *et al*., 2005). Por otro lado, existen fenómenos de interacción de envases -alimento; alimento entorno que pueden influir en la migración hacia los alimentos los cuales son detallados a continuación:

Permeación

Consiste en la transferencia másica a través del material del envase, siendo así, que se puede dar desde su interior hacia su exterior o viceversa (Hotchkiss, 1988); Cabe enfatizar que este fenómeno se produce con gases, humedad y/o aromas. Riquet *et al*. (1998) señalan que la permeabilidad sería el paso del oxígeno o humedad del entorno al alimento, desencadenando reacciones de oxidación tales como enranciamiento de las grasas, pardeamiento enzimáticos o degradación de vitaminas.

Sorción

Se manifiesta con la transferencia de masa desde el alimento hacia los envases; ocasionando la perdida de aditivos o sustancias que contiene un producto y que son esenciales para su conservación; es decir, cuando el empaque se expone a olores indeseables, o cuando el olor deseable propio del producto empacado se pierde por la permeación del empaque (Farhat *et al*., 2019); (Arvanitoyannis y Bosnea, 2004).

Migración

Este efecto ocurre posteriormente al proceso de envasado y/o almacenamiento, mediante la interacción producto-empaque transfiriendo compuestos desde la superficie del envase hacia el producto contenido en su interior (Muncke, 2021); (Navia *et al*., 2014).

Bhunia *et al*. (2013); Kontominas *et al*. (2006); Crank (1975) describen que el proceso de migración se puede dividir en 4 pasos principales:

- Difusión de compuestos químicos a través de los polímeros
- Desorción de las moléculas difundidas de la superficie del polímero
- Sorción de los compuestos en la interfaz plástico-alimento
- Desorción de los compuestos en los alimentos

En términos correspondiente a migración empaque-producto existen factores importantes que pueden acelerar o mitigar la migración tales como la naturaleza de polímero, naturaleza de los enlaces cruzados, efecto de plastificantes, naturaleza del migrante, llenadores (la difusión y el transporte en los polímeros rellenos dependen de la naturaleza de la carga, el grado de adhesión y su compatibilidad con la matriz polimérica) (Vasile, 2018), sin menospreciar las temperaturas almacenamientos con su respectiva variación de coeficientes en difusividad, sortividad y permeabilidad (García y Pedlowski, 2014)

Por lo regular, la migración incrementa cuando existen sustancias de bajo peso molecular, como los aditivos y los oligómeros de las películas de envasado (Mousavi *et al*., 1998). De similar manera, un envase es expuesto a mayor temperatura y mayor tiempo, está también ligada a la concentración inicial del aditivo plástico y el tipo de polímero presentando una disminución de la velocidad cuando se incrementa la densidad del polímero lo cual también varía con el tratamiento térmico-mecánico dado a un mismo plástico durante la fabricación del envase (Dopico *et al*., 2007). Existen características de los materiales en contacto con los alimentos como el espesor, permeabilidad, etc., asimismo, en el migrante existen propiedades químicas como la presión de vapor, polaridad (Cruz *et al*., 2019).

Otro factor a considerar al vincular es el uso de envases, el consumo de alimentos y los datos de migración es la relación entre la superficie del envase y el volumen de producto alimenticio. La transferencia de masa de la sustancia química es un fenómeno de superficie y la concentración alcanzada en el alimento o estimulante alimentario depende de su volumen o masa (Úbeda *et al*., 2017). Por tanto, el tamaño y formato de los paquetes también son muy importantes (İçöz y Eker, 2016), el tipo de alimento también influye durante la determinación de la migración para lo cual la técnica más actual para obtener datos de migración es medir la concentración de migrantes directamente en los alimentos, o en simuladores de alimentos, después de estar en contacto con un material de empaque (Schmid y Welle, 2020).

La determinación de los compuestos que migran de los materiales de envasado a los alimentos en condiciones reales es difícil debido a la complejidad de las matrices alimentarias, especialmente cuando se utilizan alimentos grasos o aceites (Grob, 2008); (O'Brien y Cooper, 2001). Por esa razón, la simulación de las condiciones de migración se puede realizar utilizando simuladores de alimentos específicos (Sanches *et al*., 2007); (Stoffers *et al*., 2005).

El uso de simuladores de alimentos para probar la migración de compuestos químicos de los envases de alimentos incluye dos pasos. La primera es la exposición del envase de polímero al simulante (s) de alimentos, lo que luego permite que los compuestos del material de envasado migren al simulante (s). El segundo es cuantificar los migrantes transferidos a un simulante de alimentos en términos de migración general o migración específica (Bhunia *et al*., 2013); (EU, 2011). La transferencia también puede ocurrir por evaporación y luego filtrarse a los alimentos a través de la fase gaseosa (Bradley *et al*., 2013); (Johns *et al*., 2000). Además, los productos químicos como los componentes de la tinta y las fibras recicladas pueden persistir en los materiales de embalaje reciclados y, en última instancia, migrar a los alimentos (Samsonek y Puype, 2013); (Castle *et al*., 1997).

El tipo de material del envase determina en gran medida el potencial y el alcance de la migración de sustancias químicas hacia los alimentos (Carrizo *et al*., 2015). En el caso de materiales aparentemente inertes como el acero inoxidable, la cerámica o el vidrio, los productos químicos que recubren la superficie interior y que estén en contacto directo con los alimentos podrían provocar contaminación y la migración aún puede ocurrir desde los cierres o selladores que contienen plastificantes (Muncke, 2017). La migración química ocurre para moléculas e iones más pequeños por debajo de 1000 Dalton (Conchione *et al*., 2020). La migración depende de la composición química (por ejemplo, polaridad) y propiedades funcionales del material de envasado (por ejemplo, cristalinidad, permeabilidad) (Alamri *et al*., 2021).

El contenido de grasa es clave para determinar las tasas de migración, ya que muchos productos químicos de envasado son lipofílicos (lo que significa que tienen una

mayor capacidad para disolverse en grasas) y, por lo consiguiente, pueden migrar más fácilmente a los alimentos grasos a tasas y niveles más altos (Desobry, 2000).

Claudio (2012) indica que la probabilidad de migración de cualquier componente potencialmente migratorio al alimento envasado depende de la composición del alimento, la mayoría de los electores que migran dan como resultado la producción de contaminantes incluye elementos hidrofóbicos, que plantean serios desafíos en el envasado de alimentos ricos en grasas. Empleando las palabras de Hron *et al*. (2012) el mantenimiento de la calidad e inocuidad de los alimentos se considera fundamental durante el proceso de envasado, en el almacenamiento, durante el transporte, y en la ubicación minorista afecta la vida útil y la relación producto, concordando con Robertson (2012) donde concluye que las afectaciones en el envase también deterioran su calidad y aumentan la tasa de migración química a los alimentos, y conducir a una mayor migración química a través de cambios en el oxígeno ambiental, la humedad, la luz y la temperatura (Cirillo *et al*., 2013); (Nerin *et al*., 2013).

Migración global

El límite de migración global establece la cantidad máxima de sustancias que el material primario puede liberar hacia los alimentos (EU, 2011), como se aprecia en el cuadro 3. De acuerdo a varios autores como Campos (2017); Sendón *et al*. (2006); Alin y Hakkarainen (2010), coinciden que la migración global se refiere a la cantidad total de masa del empaque que es transferido al alimento; independientemente de que presenten características toxicológicas o sean sustancias inertes (Estacho, 2013).

Cuadro 3. Límite de migración global

Referencia	Límite de Migración Total (LMT)
Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 1186, (2013)	60 mg/kg 10 mg/dm²
Unión Europea Reglamento No 10/2011, (2011)	60 mg/kg 10 mg/dm²
Estados Unidos FDA 21	50 mg/kg 7,75 mg/dm²
(Reglamento- Colombia Resolución 4143, (2012)	50 mg/kg 8 mg/dm²
Reglamento técnico MERCOSUR GMC/RES N°15/10, (2010)	50 mg/kg 8 mg/dm²

Existen varios niveles de las normas de seguridad practicadas a nivel de país (U.S. Food and Drug Administration) y a nivel regional (European Food Safety Autoridad). Algunos programas de certificación, como Global Food Iniciativa de seguridad, se han introducido, pero aún no se utilizan ampliamente. Las autoridades han emitido directivas legislativas sobre migración de productos químicos a los alimentos (Arvanitoyannis y Kotsanopoulos, 2013).

Simulantes para determinados tipos de alimentos

El Reglamento Unión Europea (2011) en su informe enfatiza que existen diferentes tipos de simulantes acordes a la interacción empaque-alimento y a sus características de los alimentos contenidos en envases, por ello se clasifica de la siguiente manera como se aprecia en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Lista de simulantes alimentarios // Reglamento (UE) No 10/2011

Simulante	Características del alimento
A: Etanol 10%(v/v)	Alimentos que tengan carácter hidrofílico y sean capaces de extraer sustancias hidrofílicas.
B: Ácido acético al 3% (p/v)	Alimentos que tengan carácter hidrofílico y sean capaces de extraer sustancias hidrofílicas. Para alimentos acuosos con un pH menor a 4,5.
C: Etanol al 20% (v/v)	Alimentos que tengan carácter hidrofílico y sean capaces de extraer sustancias hidrofílicas. Alimentos alcohólicos con un contenido de alcohol de hasta un 20 %, para alimentos que contengan una cantidad importante de ingredientes orgánicos que lo hagan ser más lipofílico.
D 1 : Etanol al 50% (v/v)	Alimentos que tengan carácter lipofílico y sean capaces de extraer sustancias lipofílicas. Alimentos alcohólicos con un grado alcohólico superior al 20 % y para aceite en emulsiones acuosas.
D2: Aceite Vegetal (*) (*) Puede tratarse de cualquier aceite vegetal con esta distribución de ácidos grasos	Alimentos que tengan carácter lipofílico y sean capaces de extraer sustancias lipofílicas. Alimentos que contengan grasas libres en la superficie.
E: Poli(óxido de 2,6-difenil-p-fenileno), tamaño de partícula 60-80 malla, tamaño de poro 200 nm	Se destina a ensayar la migración específica en alimentos secos.

Migración específica

Como relaciona Hurtado (2019) la migración específica es la cantidad de una sustancia concreta que es transferida al alimento con un interés particular ya sea por sus características toxicológicas, como en el caso de problemas de contaminación organoléptica, como ocurre

con residuos de solventes compuestos de termodegradación (Sanches, 2004).

Origen de compuestos migrantes

Existen sustancias permitidas para ser incorporadas durante la fabricación de envases que van a estar en contacto con alimentos las cuales presentan inocuidad toxicológica, cumpliendo con los requisitos de las siguientes organizaciones:

- Reglamento (UE) No 10/2011
- FDA 21 CFR
- Mercosur GMC/RES. Nº 15/10

Migración de componentes específicos

Los aditivos mejoran el rendimiento de los polímeros durante el procesamiento y la fabricación (Lago *et al*., 2019). Los plastificantes, antioxidantes, estabilizadores de luz, lubricantes, agentes antiestáticos, compuestos de deslizamiento y estabilizadores térmicos son los aditivos más utilizados en diferentes tipos de materiales de envasado poliméricos (Bradley *et al*., 2009). El límite de migración específico se aplica a sustancias individuales y generalmente se basa en la naturaleza toxicológica de la sustancia en cuestión (Bhunia *et al*., 2013); (EU 406/2011).

Principales aditivos en los polímeros

Estos son utilizados entre 0.05% hasta 20 % en peso, su costo es muy competitivo lo cual corresponde al crecimiento mundial de producción de plástico. Como se aprecia en el cuadro 5, los aditivos son clasificados por su función y no químicamente.

Cuadro 5. Aditivos poliméricos

Aditivos	Usos
Estearato de Calcio	Desactivador de halógeno
Fenoles Impedidos	Antioxidante primario
Colorantes	Pigmentación de piezas
Deslizante	Erukamida
Fosfitos	Antioxidante secundario
HALS (aminas impedidas)	Estabilizante a la luz
Antibloqueo	Sílica precipitada amorfa

Los materiales y sus estructuras representativas se pueden encontrar en monografías o reseñas especializadas (Dopico *et al*., 2007). Existen algunas investigaciones como se menciona en el cuadro 6, donde se han identificado migraciones globales y especificas en las condiciones detalladas a continuación:

Cuadro 6. Estudios de migración de sustancias químicas hacia envases de PP en diferentes condiciones

Material de embalaje	Migrantes / migración estudiada	Alimento / estimulante alimentario (FS)	Condiciones de calentamiento			Resultados	Referencias
			Temp. (°C)	Energía (W)	Tiempo de contacto		
PP	Irganox 1076	Aceite de oliva	40°C	220	0.5 h	2.36 a 2.38 mg/dm^2	(Jickells *et al*., 1992)
PP	Irganox 1076	Isooctano	40°C	220	0.5 h	29.04 a 29.88 mg/dm^2	(Jickells *et al*., 1992)
PP	Migración Global	Aceite de oliva	122-125°C	-	0.3 h	-0.5 a 1.0 mg/dm2	(Rijk y Kruijf, 1993)
PP	Erucamida	Etanol 15%	40°C	-	10 días	Menor a 0.04 mg/kg	(Cooper y Tice, 1995)
PP	Erucamida	Ácido acético 15%	40°C	-	10 días	Menor a 0.04 mg/kg	(Cooper y Tice, 1995)
PP	Erucamida	Aceite de oliva	40°C	-	10 días	1.9 +/-0.2 mg/kg	(Cooper y Tice, 1995)
PP	Migración global	Etanol 15%	-	800	0.05 h	0.05 a 0.14 mg/dm2	(Galotto y Guarda, 1999)
PP	Migración global	Aceite de Oliva	-	800	0.05 h	10.66 +/-0.78 mg/dm2	(Galotto y Guarda, 2004)
PP	Migración global	Isopropanol	-	800	0.05 h	0.19 +/-0.07 mg/dm2	(Galotto y Guarda, 2004)
PP	Migración global	Etanol 95%	-	800	0.05 h	1.55 +/-0.12 mg/dm2	(Galotto y Guarda, 2004)

PP	Migración global	N-heptano	-	800	0.05 h	0.07 +/-0.02 mg/dm2	(Galotto y Guarda, 2004)
PP-28um	Irganox 1010	Agua destilada	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-28 um	Irgafos 168	Agua destilada	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	DPB	Agua destilada	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	BHT	Agua destilada	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	AO 425	Agua destilada	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	Irganox 1010	Agua destilada	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	Irgafos 168	Agua destilada	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico *et al*., 2007)
PP-48 um	Irganox 1010	Agua destilada	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-48 um	Irgafos 168	Agua destilada	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico *et al*., 2007)
PP-28um	Irganox 1010	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et *al*., 2007)
PP-28um	Irgafos 168	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	DPB	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	BHT	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	AO 425	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	Irganox 1010	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	Irgafos 168	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico *et al*., 2007)
PP-48 um	Irganox 1010	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-48 um	Irgafos 168	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-28um	Irganox 1010	Etanol 10%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-28um	Irgafos 168	Etanol 10%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	DPB	Etanol 10%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	BHT	Etanol 10%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)

PP-24 um	AO 425	Etanol 10%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	Irganox 1010	Etanol 10%	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	Irgafos 168	Etanol 10%	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico *et al*., 2007)
PP-48 um	Irganox 1010	Etanol 10%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-48 um	Irgafos 168	Etanol 10%	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico *et al*., 2007)
PP-28um	Irganox 1010	Aceite de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-28um	Irgafos 168	Aceite de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	DPB	Aceite de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	BHT	Aceite de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	AO 425	Aceite de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	Irganox 1010	Aceite de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-24 um	Irgafos 168	Aceite de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-48 um	Irganox 1010	Aceite de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-48 um	Irgafos 168	Aceite de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico *et al*., 2007)
PP-C/PP-R	Irgafos 168	Isooctano	80°C	-	1 h	0.37-0.45 mg/dm2	(Alin y Hakkarainen, 2011)
PP-C/PP-R	Irganox 1010	Isooctano	80°C	-	1 h	Detectado, no cuantificado	(Alin y Hakkarainen, 2011)
PP SIN ADITIVOS	Migración global	Agua destilada	100°C	-	4 h	1.32+/-0.37 mg/dm^2	(Fasihnia *et al*., 2020)
PP BHT1%+SA2%	Migración global	Agua destilada	100°C	-	4 h	2.32+/-0.39 mg/dm^2	(Fasihnia *et al*., 2020)
PP BHA3%+SA2%	Migración global	Agua destilada	100°C	-	4 h	2.84+/-0.44 mg/dm^2	(Fasihnia *et al*., 2020)
PP BTH1%+BHA1% +AS2%	Migración global	Agua destilada	100°C	-	4 h	2.43+/-0.50 mg/dm^2	(Fasihnia *et al*., 2020)
PP SIN ADITIVOS	Migración global	Ácido acético 3%	100°C	-	4 h	1.32+/-0.37 mg/dm^2	(Fasihnia *et al*., 2020)
PP BHT1%+SA2%	Migración global	Ácido acético 3%	100°C	-	4 h	2.12+/-0.63 mg/dm^2	(Fasihnia *et al*., 2020)

PP BHA3%+SA2%	Migración global	Ácido acético 3%	100°C	-	4 h	3.66+/-0.56 mg/dm²	(Fasihnia *et al*., 2020)
PP BTH1%+BHA1% +AS2%	Migración global	Ácido acético 3%	100°C	-	4 h	3.96+/-0.48 mg/dm²	(Fasihnia *et al*., 2020)
PP SIN ADITIVOS	Migración global	Etanol 95%	175°C	-	2 h	1.66+/-0.35 mg/dm²	(Fasihnia *et al*., 2020)
PP BHT1%+SA2%	Migración global	Etanol 95%	175°C	-	2 h	6.07+/-0.40 mg/dm²	(Fasihnia *et al*., 2020)
PP BHA3%+SA2%	Migración global	Etanol 95%	175°C	-	2 h	7.82+/-0.97 mg/dm²	(Fasihnia *et al*., 2020)
PP BTH1%+BHA1% +AS2%	Migración global	Etanol 95%	175°C	-	2 h	6.64+/-0.56 mg/dm²	(Fasihnia *et al*., 2020)

Nota: Nombres de aditivos estudiados DBP (di-n-butylphthalate), BHA (butylated hydroxy anisole) , AS(Ácido sórbico), BHT (butylated hydroxytoluene) AO 425 (2,2-methylenebis(4-ethyl-6-tert-butylphenol)

Las muestras evaluadas por Alin y Hakkarainen (2011) evidenciaron durante su estudio que el 83 % de las muestras presentó migración en mezcla de los siguientes compuestos (Irgafos 168, Irganox 1076, Irganox 1010) el 17% fueron de otros compuestos, con lo cual se identifica que existe mayor proporción de estos compuestos durante la migración.

Por otra parte, la literatura menciona utilización de varios aditivos para la producción de PP tales como; tinuvin 326, DTBP, DBS, ultranox 626, Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), ethanox 330, ethanox 398, ditertbutylphenol (DTF), cyanox 1790, weston 619, cyanox 1790. Sin embargo, estos compuestos no han sido identificados o cuantificado en estudios sobre migración global o especifica.

CONCLUSIONES

Se evidencia que los compuestos químicos como el Irganox 1076, Irganox 1010, Irgafos 168 representan el 83% de la migración global generada desde los envases de polipropileno hacia los alimentos mediante pruebas de migración específicas.

Existen variables como la permeabilidad, espesor, polidispersabilidad, naturaleza de polímero, naturaleza del migrante, difusión, grado de adhesión que pueden influir en los efectos de la migración hacia los productos.

Se desconoce la influencia de las condiciones atmosféricas durante el proceso de migración y la relación que existente con los tipos de procesos de fabricación de envases.

El conocimiento de los posibles mecanismos de migración o interacción de la matriz polimérica del polipropileno, representa un punto importante en la comprensión de la actividad estabilizadora de los fosfitos y proporciona principios sintetizados para obtener mejor eficiencia durante el desarrollo de nuevas estructuras.

Se deben realizar más investigaciones sobre la migración con envases de diferentes tipos de procesos productivos y tomando en cuenta los migrantes que mayor frecuencia han tenido durante las investigaciones revisadas, sin menospreciar los otros compuestos que pueden afectar significativamente la salud de los consumidores.

LITERATURA CITADA

Abreu, F., Forte, M., & Liberman, S. 2006. Propriedades Mecânicas e Morfologia de Blendas de Polipropileno com TPEs. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 16(1):71-78.

Agueda, E., García, J., Gómez, T., Martín, J., & Gonzalo, J. 2015. Elementos metálicos y sintéticos (6.a edición). Ediciones Paraninfo, S.A.

Alamri, M., Qasem, A., Mohamed, A., Hussain, S., Ibraheem, M., Shamlan, G., Alqah, H., & Qasha, A. 2021. Food packaging's materials: A food safety perspective. Saudi Journal of Biological Sciences, 28(8):4490-4499.

Alin, J., & Hakkarainen, M. 2010. Type of polypropylene material significantly influences the migration of antioxidants from polymer packaging to food simulants during microwave heating. Journal of Applied Polymer Science, 118(2):1084-1093.

Alin, J., & Hakkarainen, M. 2011. Microwave Heating Causes Rapid Degradation of Antioxidants in Polypropylene Packaging, Leading to Greatly Increased Specific Migration to Food Simulants As

Shown by ESI-MS and GC-MS. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59(10):5418-5427. https://doi.org/10.1021/jf1048639.

Amigó, V., Salvador, M., Sahuquillo, O., Llorens, R., & Martí, F. 2008. Valorización de residuos de fibras vegetales como refuerzo de plásticos industriales. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 1-8.

Arandes, J., Bilbao, J., & López, D. 2004. Reciclado de residuos plásticos. Revista Iberoamericana de Polímeros, 5(1):28-45.

Arce, J., & Suarez, S. 2017. Obtención y caracterización de combustible a partir de desechos Termoplásticos PEBD (Low Density Polyethylene) recolectados en la Universidad de Guayaquil [Tesis pregrado, Universidad de Guayaquil]. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/18340.

Arvanitoyannis, I., & Bosnea, L. 2004. Migration of Substances from Food Packaging Materials to Foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44(2):63-76.

Arvanitoyannis, I., & Kotsanopoulos, K. 2013. Migration Phenomenon in Food Packaging. Food–Package Interactions, Mechanisms, Types of Migrants, Testing and Relative Legislation—A Review. Food and Bioprocess Technology, 7(1):21-36.

Avendaño, E., Castillo, E., & Sinuco, D. 2017. Ensayo de migración global en empaques para alimentos: Evaluación de patrones internos alternativos. Revista Colombiana de Química, 47(1), 34-40.

BCE (Banco Central del Ecuador). 2022. Obtenido de https://www.bce.fin.ec/

Begley, T., Castle, L., Feigenbaum, A., Franz, R., Hinrichs, K., Lickly, T., Mercea, P., Milana, M., O'Brien, A., Rebre, S., Rijk, R., & Piringer, O. 2005. Evaluation of migration models that might be used in support of regulations for food-contact plastics. Food Additives & Contaminants, 22(1):73-90.

Beltrán, M., & Marcilla, A. 2011. Estructura y propiedades de los polímeros. Tecnología de Polímeros. http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/16883.

Beltrán, M., & Marcilla, A. 2012. Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades (1.a ed.). Universidad de Alicante.

Bhunia, K., Sablani, S., Tang, J., & Rasco, B. 2013. Migration of Chemical Compounds from Packaging Polymers during Microwave, Conventional Heat Treatment, and Storage. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 12(5):523-545.

Bobadilla, J., Tesen, F., Tigre, J., & Muñoz, S. 2022. Uso de polímeros en asfalto: Una revisión. Gaceta Técnica, 23(1), 94-109. https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.7

Botha, L., & Van Reenen, A. 2013. The effect of in-process ethylene incorporation on the evolution of particle morphology and molecular characteristics of commercial heterophasic ethylene propylene copolymers (HEPCs). European Polymer Journal, 49(8):2202-2213.

Bradley, E., Castle, L., Jickells, S., Mountfort, K., & Read, W. 2009. Use of overall migration methodology to test for food-contact substances with specific migration limits. Food Additives & Contaminants: Part A, 26(4):574-582.

Bradley, E., Stratton, J., Leak, J., Lister, L., & CastleL, L. 2013. Printing ink compounds in foods: UK survey results. Food Additives & Contaminants: Part B, 6(2):73-83.

Brandsch, J., Mercea, P., & Piringer, O. 2020. Modeling of Additive Diffusion Coefficients in Polyolefins. ACS Symposium Series, 753(4):27-36.

Caicedo, C., Crespo, L., Cruz, H., & Álvarez, N. 2017. Propiedades termo-mecánicas del Polipropileno: Efectos durante el reprocesamiento. Ingeniería, investigación y tecnología, 18(3):245-252.

Campos, C. 2017. Estudio de migración de distintos componentes de materiales plásticos a los alimentos [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2590.

Carrizo, D., Maccagnan, A., Félix, J., Nerín, C., & Bosetti, O. 2015. The Barrier Effect of EVOH versus 1,4,7-Triaxocyclotridecane-8,13-Dione, a Non-intentionally Added Compound from Polyurethane Adhesives in Multilayer Food Packaging. Packaging Technology and Science, 28(12):1039-1046. https://doi.org/10.1002/pts.2182.

Castle, L., Offen, C., Baxter, M., & Gilbert, J. 1997. Migration studies from paper and board food packaging materials. 1. Compositional analysis. Food Additives & Contaminants, 14(1):35-44.

Chanda, M. 2021. Chemical aspects of polymer recycling. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 4(3):133-150.

Chea, V., Angellier-Coussy, H., Peyron, S., Kemmer, D., & Gontard, N. 2015. Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) films for food packaging: Physical–chemical and structural stability under food contact conditions. Journal of Applied Polymer Science, 133(2).

Çinibulak, P. 2010. Gıda ambalajlarında migrasyon [Tesis maetría, Namık Kemal University]. http://acikerisim.nku.edu.tr:8080/xmlui/handle/20.500.11776/406.

Cirillo, T., Fasano, E., Esposito, F., Prete, E., & Cocchieri, R. 2013. Study on the influence of temperature, storage time and packaging type on di-n-butylphthalate and di(2-ethylhexyl) phthalate release into packed meals. Food Additives & Contaminants: Part A, 30(2):403-411.

Claudio, L. 2012. Our Food: Packaging & Public Health. Environmental Health Perspectives, 120(6):232-237. https://doi.org/10.1289/ehp.120-a232

Conchione, C., Lucci, P., & Moret, S. 2020. Migration of Polypropylene Oligomers into Ready-to-Eat Vegetable Soups. Foods, 9(10):1-12. https://doi.org/10.3390/foods9101365.

Cooper, I., & Tice, P. 1995. Migration studies on fatty acid amide slip additives from plastics into food simulants. Food Additives and Contaminants, 12(2):235-244.

Cornejo, G., Marinero, E., Funes, C., & Toruño, P. 2020. Biopolímeros para uso agroindustrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termoplástico biodegradable. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático, 6(11):1359-1382.

Cortés, J. 2020. Una revisión general de los Artículos de Revisión. Revista Scientia et Technica, 25(1):1-3.

Crank, J. 1975. The Mathematics of Diffusion (2.a ed.). Clarendon Press.

Crespo, S. 2013. Evaluación de la pirólisis térmica de residuos de polietileno proveniente de la producción de banano en un reactor Batch [Tesis pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6661.

Cruz, R., Rico, B., & Vieira, M. 2019. Food packaging and migration. En Food Quality and Shelf Life (pp. 281-301). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817190-5.00009-4.

Cué, M., Díaz, G., Díaz, A., & Valdés, M. 2008. El artículo de revisión. Rev Cubana Salud Pública, 34(4).

Curtzwiler, G., Schweitzer, M., Li, Y., Jiang, S., & Vorst, K. 2019. Mixed post-consumer recycled polyolefins as a property tuning material for virgin polypropylene. Journal of Cleaner Production, 239:117978.

Dangaran, K., & Krochta, J. 2007. Preventing the loss of tensile, barrier and appearance properties caused by plasticiser crystallisation in whey protein films. International Journal of Food Science & Technology, 42(9):1094-1100.

Desobry, S. 2000. Packaging/fatty food interactions. Oléagineux, Corps Gras, Lipides, 7(5):427-430.

Dopico, M., López, J., & González, M. 2007. Antioxidant Content of and Migration from Commercial Polyethylene, Polypropylene, and Polyvinyl Chloride Packages. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(8):3225-3231.

Dorigato, A. 2021. Recycling of polymer blends. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 4(2):53-69.

Dulebová, L., & Greškovi, F. 2011. Influence of regrind on properties of plastics produced by injection moulding. Materials Engineering, 18: 44-48.

Elías, X., & Jurado, L. 2012. Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración. En Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración: Reciclaje de residuos industriales. Ediciones Díaz de Santos.

Espinoza, J., & Naranjo, T. 2014. Estudio de viabilidad técnica preliminar para la obtención de combustibles mediante la pirólisis de residuos plásticos generados en la Universidad Politécnica Salesiana [Tesis pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7014.

Espinoza, P. 2015. Incidencia de un sistema de gestión de controles en la elaboración de galoneras en el proceso de la producción de la Empresa Agricominsa. [Tesis pregrado, Universidad de Guayaquil]. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/13569

Estacho, P. 2013. Estudio de adhesivos en envase alimentario: Desarrollo de métodos de análisis, difusión y migración de sus componentes a los alimentos envasados [Tesis doctoral]. Universidad de Zaragoza.

EU (Commission Implementing Regulation). 2011. No 406/2011 of 27 April 2011 amending Regulation (EC) No 2380/2001 as regards the composition of the feed additive maduramicin ammonium alpha, Pub. L. No. 406/2011, 11.

Fakirov, S. 2021. Editorial for Polymer Recycling. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 4(2):50-51.

Farhat, J., Saab, J., Stephan, J., Kashanna, A., Goutaudier, C., & Mokbel, I. 2019. Physicochemical Properties of Chemical Pollutants Available in Food Contact Materials (FCM). MATEC Web of Conferences, 281, 06001. https://doi.org/10.1051/matecconf/201928106001

Fasce, L. 2005. Comportamiento mecánico de polipropileno modificado con una poliolefina elastomérica. Revista SAM, 1-10.

Fasihnia, S., Peighambardoust, S., Peighambardoust, S., Oromiehie, A., Soltanzadeh, M., Pateiro, M., & Lorenzo, J. 2020. Properties and Application of Multifunctional Composite Polypropylene-Based Films Incorporating a Combination of BHT, BHA and Sorbic Acid in Extending Donut Shelf-Life. Molecules, 25(21):5197.

Feigenbaum, A., Hamdani, M., Ducruet, V., & Riquet, A. 1995. Classification of interactions: Volatile simulants, global and specific migration. Journal of Polymer Engineering, 15(1-2):47-56.

Fernández, A. 2014. Análisis de la estructura, movilidad molecular y propiedades de copolímeros de impacto de polipropileno. Modelo de estructura de fases [Tesis doctoral, Universidad Rey Juan Carlos]. https://eciencia.urjc.es/handle/10115/12236.

Ferrara, G., Bertoldo, M., Scoponi, M., & Ciardelli, F. 2001. Diffusion coefficient and activation energy of Irganox 1010 in poly(propylene-co-ethylene) copolymers. Polymer Degradation and Stability, 73(3):411-416.

Flores, A., & Martínez, D. 2015. Diseño, simulación y construcción de una matriz para inyección de cubiertos de polipropileno [Tesis pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10288

Fouad, M., El Sayed, A., & Mahdy, A. 1999. Migration of DINP and DOP plasticisers from PVC sheets into food. Environmental Management and Health, 10(5):297-302.

Gahleitner, M., Tranninger, C., & Doshev, P. 2013. Heterophasic copolymers of polypropylene: Development, design principles, and future challenges. Journal of Applied Polymer Science, 130(5):3028-3037.

Galotto, M., & Guarda, A. 1999. Comparison between thermal and microwave treatment on the overall migration of plastic materials intended to be in contact with foods. Packaging Technology and Science, 12:277-281.

Galotto, M., & Guarda, A. 2004. Suitability of alternative fatty food simulants to study the effect of thermal and microwave heating on overall migration of plastic packaging. Packaging Technology and Science, 17(4):219-223.

Gálvez, A. 2016. Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón extraído del maíz (Zea mays) [Tesis pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/

García, J. 2014. Desarrollo de formulaciones de colores líquidos para el uso en polietileno de alta, baja densidad y polipropileno en una empresa de plásticos [Tesis pregrado]. Universidad Autónoma del Estado De México.

García, M., & Pedlowski, L. 2014. Evaluación del conocimiento del consumidor acerca de los riesgos asociados al uso de recipientes plásticos durante el calentamiento de alimentos [Tesis pregrado, Universidad Argentina de la Empresa]. https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/handle/123456789/2458.

Garde, J., Catalá, R., Gavara, R., & Hernandez, R. 2001. Characterizing the migration of antioxidants from polypropylene into fatty food simulants. Food Additives & Contaminants, 18(8):750-762.

Garrido, P. 2013. Diseño e implementación de un reactor continuo para la degradación química de polímeros [Tesis pregrado, Universidad de Chile]. http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/116265

Gnauck, B., & Fründt, P. 1991. Iniciación a la química de los plásticos (3.a ed.). Hanser.

Gómez, E., Fernando, D., Aponte, G., & Betancourt, L. 2014. Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. DYNA, 81(184):158-163.

Grob, K. 2008. The future of simulants in compliance testing regarding the migration from food contact materials into food. Food Control, 19(3):263-268.

Guirao, J., Olmedo, A., & Ferrer, E. 2008. El artículo de revisión. Revista Iberoamericana de Enfermeria Comunitaria, 1(1):1-25.

Helmroth, E., Rijk, R., Dekker, M., & Jongen, W. 2002. Predictive modelling of migration from packaging materials into food products for regulatory purposes. Trends in Food Science & Technology, 13(3):102-109.

Hernández, P, Catalá, R., & Gavara, R. 2001. Food aroma partition between packaging materials and fatty food simulants. Food Additives & Contaminants, 18(7):673-682.

Hoffman, D. 2003. Handbook of ecotoxicology (2.a ed.). Lewis Publishers.

Hotchkiss, J. 1988. An Overview of Food and Food Packaging Interactions. En Food and Packaging Interactions (Vol. 365, pp. 1-10). American Chemical Society. https://doi.org/10.1021/bk-1988-0365.ch001

Hron, J., Macák, T., & Jindrová, A. 2012. Evaluation of economic efficiency of process improvement in food packaging. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 60(4):115-120.

Hurtado, G. 2019. Determinación de la migración específica del plomo en simulante a por contacto prolongado con dos envases celulósicos para alimentos [Tesis pregrado]. Universidad Nacional Agraria la Molina.

İçöz, A., & Eker, B. 2016. Selection of food packaging material, migration and its effects on food quality. 201-210.

INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). 2013. NTE INEN 1186. Materiales y artículos en contacto con productos alimenticios. Plásticos. Parte 1: Guía para la elección de condiciones y métodos de ensayo para la migración global.

INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). 2012. NTE INEN 2634. Disposición de desechos plásticos post-consumo. Requisitos. https://drive.google.com/file/d/1fa73hd_8YZzmUhURI5RASn8Zl0qmWwTH/view?usp=drive_open&usp=embed_facebook

Jickells, S., Gramshaw, J., Castle, L., & Gilbert, J. 1992. The effect of microwave energy on specific migration from food contact plastics. Food Additives and Contaminants, 9(1):19-27.

Johns, S., Jickells, S., Read, W., & Castle, L. 2000. Studies on functional barriers to migration. 3. Migration of benzophenone and model ink components from cartonboard to food during frozen storage and microwave heating. Packaging Technology and Science, 13(3):99-104.

Kalpakjian, S., & Schmid, S. 2002. Manufactura, ingeniería y tecnología (4.a ed.). Pearson Educación.

Karian, H. Ed. 2003. Handbook of polypropylene and polypropylene composites (2.a ed.). Marcel Dekker.

Kontominas, M., Goulas, A., Badeka, A., & Nerantzaki, A. 2006. Migration and sensory properties of plastics-based nets used as food-contacting materials under ambient and high temperature heating conditions. Food Additives & Contaminants, 23(6):634-641.

Lago, M., Sendón, R., Bustos, J., Nieto, M., Paseiro, P., & Rodríguez, A. 2019. Migration Studies of Two Common Components of UV-curing Inks into Food Simulants. Molecules, 24(19):3607.

Lau, O. y Wong, S. 2000. Contamination in food from packaging material. Journal of Chromatography A, 882(1), 255-270.

Lopes, D. 2015. Microencapsulação de própolis em matrizes de polissacáridos e estudos de libertação controlada [MasterThesis, Universidade de Lisboa]. https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/8524

Majewski, T., & Zawadzki, A. 2013. Plásticos reforzados con fibras naturales en el sector automotriz. Ideas en Ciencias, 23-33.

Manadas, R., Pina, M., & Veiga, F. 2002. A dissolução in vitro na previsão da absorção oral de fármacos em formas farmacêuticas de liberação modificada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38(4).

Matos, M., Sánchez, J., Jiménez, M., Salas, L., Santana, O., Gordillo, A., Maspoch, M., & Müller, A. 2005. Propiedades Mecánicas y Comportamiento a Fractura de un Polipropileno Homopolímero comparado con un Copolímero de impacto grado comercial. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 25(1-2):31-45.

Molinari, E. 2016. Relación entre propiedades tribológicas y estructura de polietilenos [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur].

https://repositoriodigital.uns.edu.ar/xmlui/handle/123456789/3434

Montero, C., & Mejía, F. 2008. El descubrimiento de los plásticos: De solución a problema ambiental. Letras ConCiencia TecnoLógica, 80-96.

Mora, J., Esquivel, M., Durán, M., & Zamora, R. 2015. Obtención y evaluación de mezclas de polipropileno con fibras de raquis de banano (Musa AAA). Revista Iberoamericana de Polímeros, 16(2):91-111.

Morales, R., & Candal, M. 2006. Diseño y fabricación de un molde de termoformado utilizando herramientas CAD/CAE. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 21(1):83-99.

Morocho, S. 2019. Obtención de combustible mediante pirólisis térmica a partir de polipropileno reciclado. [Tesis pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13804

Mousavi, S., Desobry, S., & Hardy, J. 1998. Mathematical modelling of migration of volatile compounds into packaged food via package free space. Part II: Spherical shaped food. Journal of Food Engineering, 36(4):473-484.

Muncke, J. 2021. Tackling the toxics in plastics packaging. PLOS Biology, 19(3):1-11.

Muncke, J. 2017. Food contact materials: Chemical risk assessment and practical challenges. 27.

Navia, D., Ayala, A., & Villada, H. 2014. Interacciones empaque-alimento: Migración. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 13(25):99-113.

Nerin, C., Alfaro, P., Aznar, M., & Domeño, C. 2013. The challenge of identifying non-intentionally added substances from food packaging materials: A review. Analytica Chimica Acta, 775:14-24.

O'Brien, A., & Cooper, I. 2001. Polymer additive migration to foods-a direct comparison of experimental data and values calculated from migration models for polypropylene. Food Additives & Contaminants, 18(4):343-355.

Passaretti, M. 2019. Desarrollo de films delgados a partir de copolímeros bloque con morfología controlada [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur]. https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/81497

Pastor, M. 2016. Polimerización secuencial de Copolímeros de Propileno en un solo reactor. Regulación de la morfología y propiedades mecánicas [Tesis doctoral, Universidad Rey Juan Carlos]. https://eciencia.urjc.es/handle/10115/14181

Peña, J. 2011. Producción de polipropileno mediante Combinación de catalizadores Metalocénicos [Tesis pregrado, Universidad Rey Juan Carlos]. https://eciencia.urjc.es/handle/10115/11785

Pinajota, O. 2018. Desarrollo de una ingeniería conceptual para el proceso de pirólisis térmica de residuos plásticos de polipropileno y poliestireno. [Tesis pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10427

Plastics – the Facts. 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data /2017 (p. 44). PlasticsEurope.

Plastics – the Facts. 2019. An analysis of European plastics production, demand and waste data/2019 (p. 42). Plastics Shape the Future.

Redondo, F. 2018. Síntesis y caracterización de copolímeros bloque biocompatibles [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur]. https://repositoriodigital.uns.edu.ar/xmlui/handle/123456789/4168

Reglamento de Comisión Europea No 10. 2004. No 1935/2004 Del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de octubre de 2004, sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se derogan las Directivas 80/590/CEE y 89/109/CEE, Pub. L. No. No 1935/2004, 4.

Reglamento Unión Europea No 10. 2011. Comisión, de 14 de enero de 2011, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos, Pub. L. No. No 10/2011, 1.

Reglamento técnico MERCOSUR. 2010. Sobre colorantes en envases y equipamientos plásticos destinados a estar en contacto con alimentos (derogación de la Res. GMC No 28/93), Pub. L. No. GMC/RES. No 15/10, 1.

Reglamento técnico 4143-2012. 2012. Sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos plásticos y elastoméricos y sus aditivos, destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano en el territorio Nacional, Pub. L. No. 4143-2012, 1.

Rijk, R., & Kruijf, N. 1993. Migration testing with olive oil in a microwave oven. Food Additives & Contaminants, 10(6):631-645.

Riquet, A., Wolff, N., Laoubi, S., Vergnaud, J., & Feigenbaum, A. 1998. Food and packaging interactions: Determination of the kinetic parameters of olive oil diffusion in polypropylene using concentration profiles. Food Additives & Contaminants, 15(6):690-700.

Robertson, G. 2012. Food Packaging: Principles and Practice, Third Edition (3.a ed.). CRC Press Taylor and Francis Group.

Samsonek, J., & Puype, F. 2013. Occurrence of brominated flame retardants in black thermo cups and selected kitchen utensils purchased on the European market. Food Additives & Contaminants: Part A, 30(11):1976-1986.

Sanches, A. 2004. Desarrollo de Métodos Analíticos para el Estudio en Alimentos de Fenómenos de Oxidación Lipídica y Migración provenientes del Material de Envase [Tesis doctoral]. Universidad Santiago de Compostela.

Sanches, A., Cruz, J., Sendón, R., Franz, R., & Paseiro, P. 2007. Kinetic migration studies from packaging films into meat products. Meat Science, 77(2):238-245.

Sanipatín, S. 2019. Estudio Comparativo de las propiedades mecánicas de residuos de polipropileno obtenido por extrusión y reforzado con fibras de Abacá y de Plátano. [Tesis pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13265

Schmid, P., & Welle, F. 2020. Chemical Migration from Beverage Packaging Materials—A Review. Beverages, 6(2):1-19.

Sendón, R., Sanches, A., Cooper, I., Franz, R., & Paseiro, P. 2006. Revision of analytical strategies to evaluate different migrants from food packaging materials. Trends in Food Science & Technology, 17(7):354-366.

Seymour, R., & Carraher, C. 2021. Introducción a la química de los polímeros (1.a ed.). Reverte.

Shin, J., & Selke, S. 2014. Food Packaging. En S. Clark, S. Jung, & B. Lamsal (Eds.), Food Processing (2.a ed., pp. 249-273). John Wiley &amp Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781118846315.ch11

Shubhra, Q., Alam, A., & Quaiyyum, M. 2013. Propiedades mecánicas de los compuestos de polipropileno: Una revisión. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 26(3):362-391.

Simoneau, C. 2008. Chapter 21 Food Contact Materials. Comprehensive Analytical Chemistry. 51, 733:773.

Stoffers, N., Dekker, M., Linssen, J., Störmer, A., Franz, R., & Boekel, M. 2005. Modelling of simultaneous two-sided migration into water and olive oil from nylon food packaging. European Food Research and Technology, 220(2):156-162.

Tatara, R. 2017. 14—Compression Molding. En M. Kutz (Ed.), Applied Plastics Engineering Handbook (Second Edition) (pp. 291-320). William Andrew Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00014-6

Todo en polimeros. 2017. Moldeo por compresion. https://todoenpolimeros.com/2017/03/03/moldeo-por-compresion-2/

Úbeda, S., Aznar, M., Vera, P., Nerín, C., Henríquez, L., Taborda, L., & Restrepo, C. 2017. Overall and specific migration from multilayer high barrier food contact materials – kinetic study of cyclic polyester oligomers migration. Food Additives & Contaminants: Part A, 34(10):1784-1794.

Vasile, C. 2018. Polymeric Nanocomposites and Nanocoatings for Food Packaging: A Review. Materials, 11(10):1834.

Vázquez, A., Espinosa, R., Beltrán, M., & Velasco, M. 2016. El reciclaje de los plásicos. Anipac, 17.

Velásquez, E., Espinoza, S., Valenzuela, X., Garrido, L., Galotto, M., Guarda, A., & López, C. 2021. Effect of Organic Modifier Types on the Physical–Mechanical Properties and Overall Migration of Post-Consumer Polypropylene/Clay Nanocomposites for Food Packaging. Polymers, 13(9):1502.

Vélez, J., & De La Hoz, E. 2016. Modelo lineal para estimar el índice de degradación a la procesabilidad del polipropileno reciclado debida a la adición de estabilizante. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 24(1):85-93.

Villalta, A. 2018. Evaluación de la biodegradabilidad de diferentes formulaciones de un bioplástico sintetizado, a partir del almidón obtenido de la cáscara de mango (Mangifera indica L.) a escala laboratorio [Tesis pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/

Vitrac, O., & Hayert, M. 2005. Risk assessment of migration from packaging materials into foodstuffs. AIChE Journal, 51(4):1080-1095.

VomBruck, C., Figge, K., & Rudolph, F. 1981. Interaction of fat- containing food with plastics packaging. Journal of the American Oil Chemists' Society, 58(8):811-815.

Wang, X., Yuan, H., Pan, Y., Liu, C., Shen, C., & Liu, X. 2019. Creep behavior and mechanical properties of isotactic polypropylene composites via twice melt injection molding. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2(3), 102-109. https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.06.001

Yam, K. 2009. The Wiley encyclopedia of packaging technology (3rd ed). John Wiley & Sons.

Zhang, Z., Britt, I., & Tung, M. 2001. Permeation of oxygen and water vapor through EVOH films as influenced by relative humidity. Journal of Applied Polymer Science, 82(8), 1866-1872. https://doi.org/10.1002/app.2030

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

DIVERSIDAD MICROBIANA PRESENTE EN AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE INDUSTRIA ATUNERA

MICROBIAL DIVERSITY PRESENT IN WASTEWATER FROM THE TUNA INDUSTRY

María Fernanda Pincay Cantos

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, km 2 ½ vía Calceta – El Gramal. Calceta, Manabí, Ecuador

Email: maria.pincay@espam.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
06/01/2022

Aceptado:
30/06/2022

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
13(1):70-76

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i1.312

Resumen

Se realizó un estudio para identificar la diversidad microbiana en aguas residuales proveniente de la industria atunera, las muestras se obtuvieron en diferentes puntos del proceso del atún, el análisis se lo realizó por medio de herramientas moleculares como es la metagenómica, la técnica de Electroforesis en Gel con Gradiente de Desnaturalización (DGGE) y de la Reacción en cadena de la polimerasa (PCR), la sensibilidad de estas técnicas permitió la amplificación de fragmentos del gen 16S rDNA por medio de cebadores específicos este producto de PCR amplificado se envió a secuenciar, siendo la secuenciación una alternativa valiosa para proporcionar información sobre la identidad de la población microbiana, logrando caracterizar la estructura de un ambiente, obteniendo 37 clones bacterianos con un 27,0 % perteneciente al grupo Firmicutes, 24,34% a las Proteobacterias, 16,21 % a las Actinobacterias.

Palabras clave: ambiente, β-galactosidasa, caracterización, contaminantes.

Abstract

A study was carried out to identify the microbial diversity in wastewater from the tuna industry, the samples were obtained at different points in the tuna process, the analysis was carried out using molecular tools such as metagenomics, the Electrophoresis technique in Denaturation Gradient Gel (DGGE) and Polymerase Chain Reaction (PCR). The sensitivity of these techniques allowed the amplification of 16S rDNA gene fragments by means of specific primers. This amplified PCR product was sent for sequencing, becoming a valuable alternative to provide information on the identity of the microbial population, characterizing the structure of an environment, obtaining 37 bacterial clones with 27.0% belonging to the Firmicutes group, 24.34% to Proteobacteria, 16, 21% to Actinobacteria.

Keywords: environment, β-galactosidase, characterization, contaminants.

INTRODUCCIÓN

La FAO (2020) indica que más de 80 estados se dedican a la pesca de atún, donde miles de buques operan en todos los océanos desarrollando la capacidad de pesca del producto debido al gran crecimiento de la demanda del mismo. La industria atunera se ha convertido en un punto clave para estos mercados ya que ha tenido un crecimiento sostenido durante los últimos año (García, 2018).

Más allá de la generación de empleo y el crecimiento económico relacionado con las industrias de conservas de pescado y marinas, este sector produce grandes cantidades de desechos que necesitan un mayor tratamiento. Estos efluentes se caracterizan principalmente por flujos abundantes con altas cargas orgánicas además de altas concentraciones salinas (Palmeiro-Sánchez & Campos, 2021), siendo difícil gestionar los efluentes de las conservas de pescado, ya que son estacionales con una alta fluctuación de materia orgánica.

Las metodologías más empleadas para remediar estas aguas residuales se clasifican en tecnologías biológicas aerobias y anaerobias; las cuales han demostrado reducir altos niveles de materia orgánica disuelta (López-Anchundia *et al*., 2019). Los tratamientos anaeróbicos presentan sustanciales ventajas para las plantas procesadoras de productos del mar. Los menores costos operativos, la producción de metano (biogás) y la baja generación de lodos son los puntos que resaltan la digestión anaerobia (Grando *et al*., 2017).

Estudiar los mecanismos que generan y subyacen a la biodiversidad microbiana es clave para predecir la respuesta de los ecosistemas a los cambios ambientales, los microorganismos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) son esenciales para la purificación del agua a fin de proteger la salud pública y ambiental (Wu *et al*., 2019).

Los nuevos métodos moleculares que utilizan técnicas metagenómicas permiten a los investigadores caracterizar los microorganismos que se encuentran en las aguas residuales mediante la extracción del ADN total que incluye el material genético de los microorganismos que no se pueden cultivar (Hendriksen *et al*., 2019).

La metagenómica se refiere a la secuenciación aleatoria "escopeta" del ADN microbiano, sin seleccionar ningún gen en particular (Scholz *et al*., 2016), pudiendo proporcionar información adicional sobre la presencia de especies bacterianas, patógenos y genes de virulencia, y los datos pueden volver a analizarse si se identifican nuevos genes de interés (Hendriksen *et al*., 2019).

El objetivo del presente estudio es identificar la diversidad microbiana en aguas residuales proveniente de la industria atunera, estableciendo una base de datos de bacterias presentes en este tipo de aguas por medio de técnicas moleculares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La industria en estudio está localizada en la vía Manta-Montecristi a la altura del km 8 ½, parroquia Colorado, cantón Montecristi, provincia de Manabí (Figura 1). La empresa está ubicada en un sector altamente industrial y en pleno desarrollo. Las coordenadas de ubicación en UTM del Proyecto son las siguientes:

Cuadro 1. Ubicación geográfica general de las instalaciones

Punto	Este	Norte
1	535771	9886775
2	535679	9886679
3	535483	9886704
4	535330	9886448

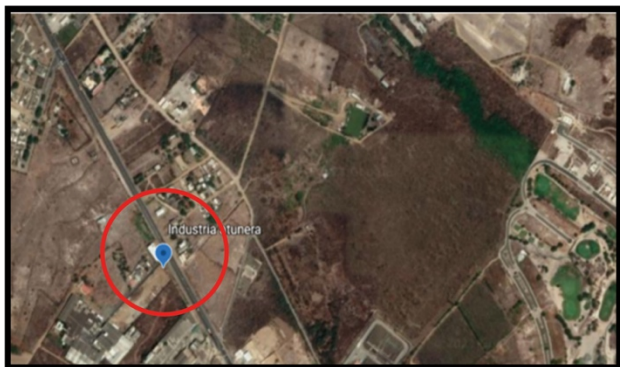

Figura 1. Ubicación de la atunera en estudio (Montecristi, Ecuador)

Caracterización molecular

Para la caracterización molecular se tomaron muestras en varios puntos del proceso de la fábrica de conservas de pescado, agua de pozo (M1), agua de osmosis (M2), agua residual sin tratar (M3), tratamiento bacteriano (M4), agua residual tratada (M5).

Para la extracción de ADN se enriquecieron las muestras de aguas residuales en un medio de cultivo LB Caldo por 24 horas a 37°C. Los enfoques moleculares más ampliamente empleados para estudiar la estructura de la comunidad microbiana se empieza con la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), la caracterización molecular se realizó por medio de electroforesis en gel con gradiente denaturante (DGGE), para lo cual se extrajo el ADN bacteriano por medio del UltraClean® Microbial DNA Isolation Kit (Mo Bio laboratorios Inc.) siguiendo las instrucciones del fabricante.

Posteriormente se efectuó una PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) de la región V3 de la secuencia del ADNr 16s (Bentacurt *et al*., 2018). La DGGE se ejecutó en un gradiente de desnaturalización del 10% al 80% para los análisis de los índices ecológicos y del 20% al 60% para la extracción de bandas, purificación, amplificación y posterior secuenciación e identificación de las cepas presentes en las muestras.

Amplificación del gen ADNr 16S

El 16S sigue siendo el objetivo estable más utilizado para la identificación bacteriana y los estudios de evolución genética, porque otros genes altamente conservados no se han estudiado tan a fondo (Deirdre *et al*., 2020). La amplificación del gen ADNr 16s se la realizó en dos fases mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) (Callahan *et al*., 2019), en la primera fase se utilizaron partidores universales para el dominio bacterias, 907r (926r) y P3(341f) (Cuadro 2).

El mix de PCR fue realizado en un volumen total de 50 µl, los cuales contenían 25 µl SapphireAmp® Fast PCR

Master Mix (TAHARA BIO INC.), 2 µl de los partidores 907r (926r a una concentración de 0,10µM) y 2 µl de P3 (341f a una concentración de 0,10µM), 4µl de DNA templado y 17 µl con agua DEPC (Dietilpirocarbonato).

La PCR consistió en una denaturación inicial a 94°C por 5 minutos; luego 35 ciclos de denaturación a 94°C por 30 segundos, alineamiento a 55,6°C por 45 segundos y elongación a 72°C por 90 segundos y finalmente una extensión final a 72°C por 10 minutos (Callahan *et al*., 2019; Shin *et al*., 2020; Zhu *et al*., 2020). El segundo paso consistió en una PCR anidada de la región V3 del gen 16S del ADNr; para esto se usó los partidores P3 (341f) y P2 (534r) y el ADN templado de la PCR del 907. El partidor P3 contiene 40 bases de GC los cuales ayudan a la disgregación en el análisis de DGGE.

Cuadro 2. Secuencia de partidores y tamaño esperado de los productos de PCR de la amplificación del gen 16S rDNA y región V3 del mismo gen.

Partidores	Secuencia	Tamaño	Referencia
907r	5´-AGT TTG ATC MTG GCT CAG-3´	926 pb	Muyzer *et al*., 1995
P3	5´-CCG TCA ATT CMT TTG AGT TT-3´		
P3	5´-40 GC+TAG GGG AGG CAG CAG-3´	193 pb	Wang *et al*., 2008
P2	5´-ATT ACC GCG GCT GG-3´		

Electroforesis en gel con gradiente denaturante (DGGE)

Los productos de amplificación de PCR del dominio bacteria con el partidor 907r se sometieron a una electroforesis en gel con gradiente denaturante (DGGE), estos sirvieron para separar las diferentes bandas OTU's (Unidades Operacionales Taxonómicas) existentes en las muestras de los diferentes ensayos; el gel contenía un gradiente de denaturación del 10% al 60% preparado con las soluciones stock.

Para formar el gradiente se preparó un gel usando 15 ml de cada solución stock, para la polimerización de la acrilamida se usó 130 µl de per sulfato de amonio (BioRad®) al 10% y 13 µl de N´-Tetra-metil-etilendiamina [TEMED] (BioRad®), el gradiente vertical se obtuvo utilizando el formador de gradiente de proporcionado por el fabricante del equipo para DGGE (C.B.S Scientific Company®) siguiendo las indicaciones. Se cargó las muestras de la PCR de los partidores (907r-P3f) para lo cual se usó 15 µl de los productos de la amplificación, mezclado con 3 µl buffer de carga (Blue 6x Bio Labs Inc.) en una proporción 3:1, esta mezcla se cargó en el gel por medio de una jeringa Hamilton.

Cuadro 3. Preparación de las soluciones stock de DGGE

	10%	20%	60%	80%
Acrilamida Bis 30%	18,8 ml	18,8 ml	18,8 ml	18,8 ml
TAE 50x	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml
Formamida	4ml	8 ml	24 ml	32 ml
Urea	4,2 g	8,4 g	25,2 g	33,6 ml

Para el análisis de la región v3 del ADNr 16s se prepararon geles con una concentración de agente denaturante del 20% al 80%. (Tabla 3). Para esto se usó 15 ml de cada solución stock para la formación del gradiente.

La polimerización de la poliacrilamida se logró agregando 130 µl de persulfato de amonio (BioRad®) 10% y 13 µl de N`-Tetra-metil-etilendiamina (TEMED) (BioRad®), el gradiente vertical se obtuvo utilizando el formador de gradiente proporcionado por el fabricante del equipo siguiendo sus indicaciones. Se uso 16 µl de los productos de la amplificación con los partidores P2-P3, mezclado con 3 µl de buffer de carga a una concentración 6x obteniendo una proporción 3:1, esta mezcla se cargó en los geles denaturantes por medio de una jeringa Hamilton. A diferencia del gel anterior; este gel sirvió para realizar los estudios de los índices ecológicos y de diversidad bacteriana.

La técnica de Electroforesis en gel con gradiente de denaturación se realizó en el equipo DGGE-1001 (C.B.S Scientific Company®), este equipo posee una cámara de electroforesis vertical cargada con buffer TAE 1X (40 mM Tris-acetato y 1mM EDTA, pH 8.3 a 25°C) el casete que contiene los geles, son embebidos en esta solución y la electroforesis fue corrida a 82V por 18 horas a 56°C. El gel fue teñido con una solución de SYBR Gold Nucleic acid gel stain (Molecular Probes Invitrogen®) al 0,05% durante 1 hora en oscuridad, posteriormente la visualización de las bandas se las realizó en UltraBright LED Transilluminator, 470nm (LB-16 MAESTROGEN) y se fotografió con una cámara Canon PowerShot G12 de 10.0MP en formato RAW, para así obtener un registro de los patrones de las bandas de cada muestra y su posterior análisis informático. Las imágenes del gel fueron reconstruidas con software Photoshop CS6.v13.0 (Adobe).

Las bandas se analizaron usando el software Gel-ProAnalyzer 4.0 (Applied Math) definiendo las bandas como aquellas que poseían al menos 5% de intensidad, anotándose como presencia o ausencia de las bandas en cada posición del gel.

Para la comparación se construyó una matriz binaria basada en la presencia (1) o ausencia (0) de cada banda individual por cada línea, los cuales son usados para la construcción de una matriz de distancia. La matriz de

distancia fue usada para la construcción de un diagrama de escalamiento multidimensional (MDS) el cual es un mapa bidimensional con ejes artificiales X y el eje Y donde cada fingerprint de DGGE se coloca como un punto de forma que las muestras similares son representadas juntas.

Los patrones únicos de DGGE o unidades operacionales taxonómicas (OTU´s) se examinaron usando dos índices que indican los aspectos de la diversidad microbiana. El índice de Shannon-Weaver, índice de diversidad H (Shannon y Weaver, 1963) y el índice de equidad E (Pielou, 1975) se calcularon para cada muestra de acuerdo a la fórmula:

$$H = -\Sigma \left(\frac{ni}{N}\right) \log \left(\frac{ni}{N}\right) \quad \text{Eq. (1).}$$

$$E = H/logS \quad \text{Eq. (2).}$$

Donde C representa el número total de bandas en el patrón y Dg el gradiente de Denaturalización comprendido entre la primera y la última banda del patrón (Carballa *et al*., 2015).

Electroforesis en gel de agarosa

Los productos de PCR contenían SapphireAmp® Fast PCR Master Mix (TAHARA BIO INC.) la cual poseía en su mezcla el Buffer de carga. Para posteriormente el gel de agaraosa al 2% ser observado en un transiluminador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las bandas obtenidas por DGGE se analizaron mediante el software Gel-Pro Analyzer 4.0 (Applied Math) definiendo las bandas como aquellas que poseían al menos 5% de intensidad de la banda más intensa, anotándose como presencia o ausencia de las bandas en cada posición del gel.

La presencia de las 40 bandas más representativas del gel de DGGE con un gradiente de desnaturalización del 20%-80% fueron extraídas, purificadas, amplificadas, enviadas a secuenciar (Bayle *et al*., 2020; Dimitrakopoulou *et al*., 2021) a Macrogen, Korea, obtenidas las secuencias de ADN se analizaron por medio de la herramienta bioinformática del NCBI (National Center for Biotecnology), BLAST (Nucleotide Basic Local Alignment Search Tool). Con esta herramienta se compara las secuencias de nucleótido (query) contra una base de datos de secuencias, hallando similitudes entre ellas.

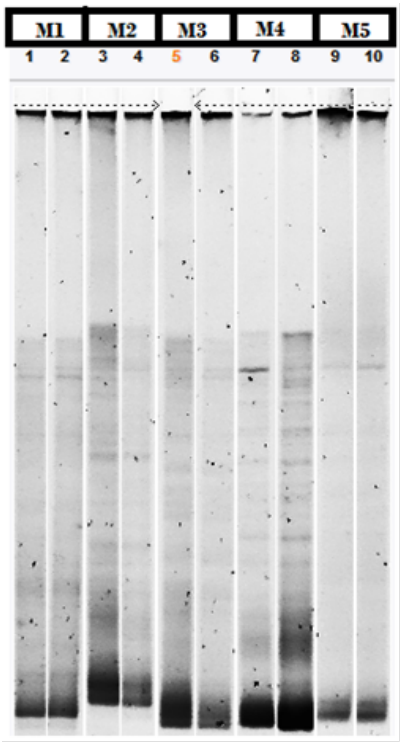

Figura 2. Perfil de bandas de gradiente denaturante (DGGE) 20%-80% de las muestras M1 (Agua de pozo), M2 (agua osmosis), M3 (agua residual del proceso), M4 (tratamiento bacteriano), M5 (Agua residual + tratamiento).

Donde C representa el número total de bandas en el patrón y Dg el gradiente de Denaturalización comprendido entre la primera y la última banda del patrón (Carballa *et al.,* 2015).

Electroforesis en gel de agarosa

Los productos de PCR contenían SapphireAmp® Fast PCR Master Mix (TAHARA BIO INC.) la cual poseía en su mezcla el Buffer de carga. Para posteriormente el gel de agaraosa al 2% ser observado en un transiluminador.

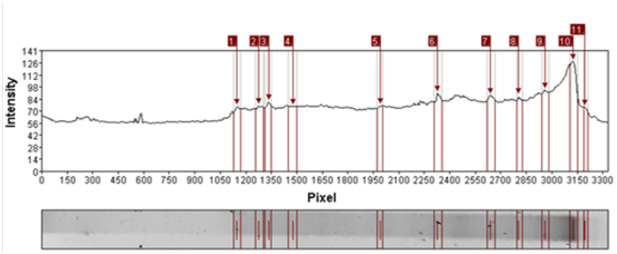

Figura 3. Análisis de banda obtenida por DGGE por medio software Gel-Pro Analyzer 4.0 (Applied Math) M1

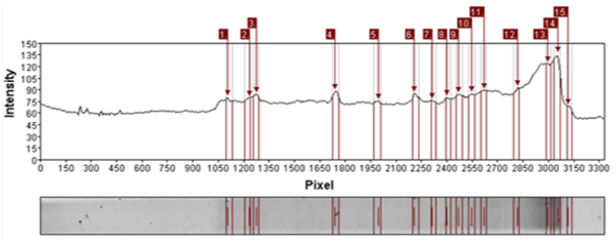

Figura 4. Análisis de banda obtenida por DGGE por medio software Gel-Pro Analyzer 4.0 (Applied Math) M2

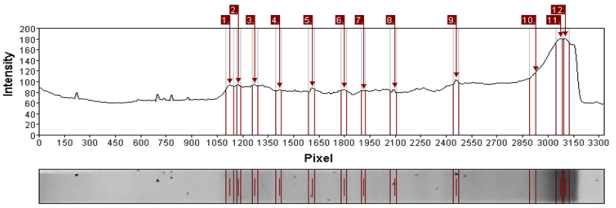

Figura 5. Análisis de banda obtenida por DGGE por medio software Gel-Pro Analyzer 4.0 (Applied Math) M3

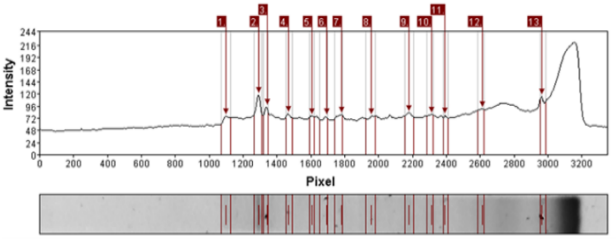

Figura 6. Análisis de banda obtenida por DGGE por medio software Gel-Pro Analyzer 4.0 (Applied Math) M4

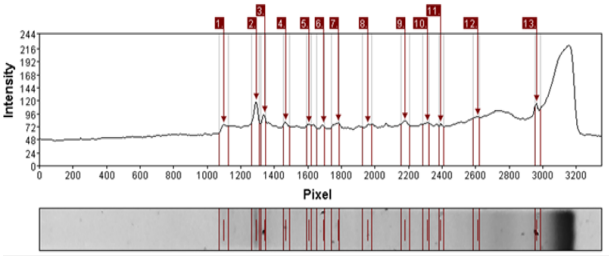

Figura 7. Análisis de banda obtenida por DGGE por medio software Gel-Pro Analyzer 4.0 (Applied Math) M5

Las secuencias relativas más cercanas fueron analizadas en el Gen Bank (Dimitrakopoulou *et al*., 2021) demostrando que los principales phyla bacterianos encontrados fueron: actinobacteria, proteobacteria, firmicutes, fungi.

Cuadro 4. Secuencia relativamente cercana analizadas a partir del ensayo DGGE

Banda	Secuencia Relativa más cercana	Grupo Bacteriano
A1	*Bacillus cecembensis strain PN5*	Firmicutes
A2	*Bacillus cecembensis*	Firmicutes
A3	*Pseudosporangium ferrugineum*	Actinobacteria
A4	*Mycobacterium insubricum*	Actinobacteria
A5	*Desulfotomaculum intricatum*	Firmicutes
B1	*Desulfotomaculum nigrificans*	Firmicutes
B3	*Mycobacterium insubricum*	Actinobacteria
B4	*Mycobacterium rhodesiae*	Firmicutes
B5	*Escherichia coli PCN033*	Proteobacteria
C1	*Oceanobacillus limi strain H9B*	Firmicutes
C2	*Escherichia coli PCN033*	Proteobacteria
C3	*Escherichia coli genome assembly FHI27*	Proteobacteria
C5	*Clostridium acetobutylicum*	Firmicutes
D1	*Sporisorium scitamineum strain SscI8 genome assembly*	Basidiomycota
D2	*Pseudo kineococcus lusitanus*	Actinobacteria
D3	*Candidatus Azobacteroides pseudotrichonymphae genomovar.*	Bacteroidetes
D4	*Desulfotomaculum nigrificans*	Firmicutes
D5	*Shigella flexneri*	Proteobacteria
D5	*Plasmodium yoelii*	Protista
E1	*Streptomyces pharmamarensis*	Actinobacteria
E2	*Plasmodium cynomolgi*	Alveolata
E3	*Comamonas terrae strain*	Actinobacteria
E4	*Thermodesulfobacterium geofontis*	Thermodesulfobacteria
E5	*Acetobacter peroxydans*	Proteobacteria
F1	*Obesumbacterium proteus*	Proteobacteria
F2	*Bacillus cecembensis strain*	Firmicutes
F3	*Vitellibacter echinoideorum strain*	Bacteroidetes
F4	*Escherichia coli PCN033*	Proteobacteria
F5	*Escherichia coli HS*	Proteobacteria
G1	*Parabacteroides faecis*	Bacteroidetes
G4	*Desulfobacula toluolica*	Proteobacteria
G5	*Debaryomyces hansenii 18S ribosomal RNA gene*	Fungi
H1	*Microbacterium pseudoresistens*	Actinobacteria
H2	*Dekkera bruxellensis strain*	Fungi
H3	*Methanocaldococcus jannaschii*	Euryarchaeota
H4	*Oceanobacillus chironomi*	Firmicutes
H5	*Maribacter vaceletii*	Bacteroidetes

La diversidad microbiana dentro del dominio fue casi cuatro veces mayor en el dominio Firmicutes con un (25,0%) aunque ausente en la M4 y M5, el segundo grupo mayoritario fue el de proteobacteria con un (22,50%) ausente solo en la muestra 1 (agua de pozo) y el tercer grupo formado por actinobacteria (14,00%) otros grupos reconocidos en el agua son las proteobacteria, estos genes se han descrito en bacterias como *Escherichia coli* (Deirdre *et al*., 2020; Mondal *et al*., 2021).

Las bandas del perfil de DGGE u OTU's presentes en cada una de las muestras se pudieron analizar la correlación de Bray-Curtis basado en la presencia o ausencia de bandas o OTU's (Figura 8); además de esto se realizó el estudio de su similitud por medio del método de escalamiento multidimensional (MDS) el cual utiliza una matriz de distancia que posee la correlación de Bray-Curtis (Figura 9).

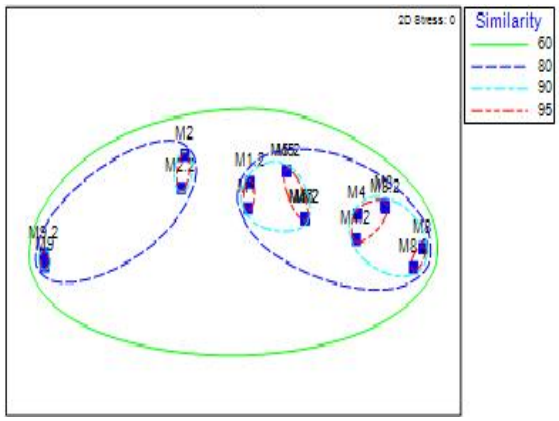

Figura 8. Escalamiento multidimensional del patrón de bandeo obtenidos mediante DGGE.

Este análisis mostro que al 95% de similitud en la estructura de las comunidades bacterianas existen 2 grupos definidos, siendo el primer grupo formado por las muestras (M5, M5.2); el segundo grupo fue formado por las muestras (M6, M7, M6.2, M7.2); que además poseen un 80% de similitud, incluyendo otros dos grupos (M2, M2.2) Y (M9, M9.2).

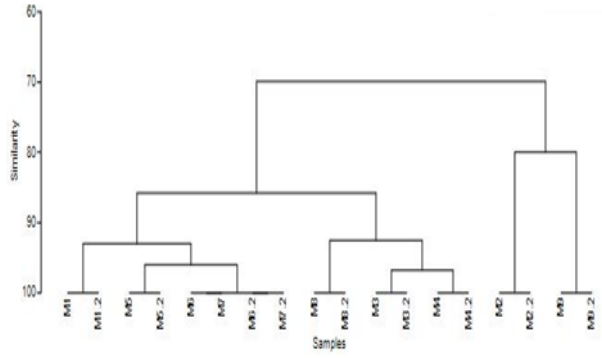

Figura 9. Dendrograma del análisis de similitud (Bray-Curtis) del patrón de bandeo obtenido mediante análisis del gen ARNr 16s por DGGE.

Se realizó el análisis de índice de diversidad de Shannon (H) y la riqueza (S) después de 120 horas de incubación, los cuales ayudaron a comparar la diversidad catabólica entre los diferentes ensayos. El índice de riqueza (S) demostró que existe mayor diversidad microbiana en las muestras M3 (agua de proceso) y M4 (tratamiento bacteriano) (Cuadro 5).

El índice H' obtenido por el análisis de OTU´s, demuestra que existe una mayor diversidad de especies en las muestras M2 (agua de osmosis), M3 (agua de residual de proceso), M4 (tratamiento bacteriano) si la comparamos con la M5 (agua residual + tratamiento). El índice J' indica que las abundancias están más uniformemente distribuidas en todas las muestras. Además, el índice de dominancia de Simpson fue igual en todas las muestras teniendo como valor 1-Lambda'=1, lo que indica que posee un alto grado de similitud en su diversidad entre las diferentes muestras.

Cuadro 5. Índices de riqueza (S), índice de diversidad de Shannon-Weaver (H'), índice de equidad de Pielou (J´) e índice de dominancia de Simpson (1-Lambda') del patrón de bandas (OTU's), obtenido mediante el análisis del gen ARNr 16S por DGGE.

Muestras	S	H'(loge)	J'	1-Lambda'
M1	11	2,398	1	1
M2	9	2,197	1	1
M3	16	2,773	1	1
M4	15	2,708	1	1
M5	12	2,485	1	1
M6	13	2,565	1	1
M7	13	2,565	1	1
M8	18	2,89	1	1
M9	6	1,792	1	1
M10	6	1,792	1	1
M1.2	11	2,398	1	1
M2.2	9	2,197	1	1
M3.2	16	2,773	1	1
M4.2	15	2,708	1	1
M5.2	12	2,485	1	1
M6.2	13	2,565	1	1
M7.2	13	2,565	1	1
M8.2	18	2,89	1	1
M9.2	6	1,792	1	1
M10.2	6	1,792	1	1

CONCLUSIONES

Con la metagenómica se ha logrado conocer y estudiar en más detalle todo ese material genómico desconocido. Se han descubierto nuevas moléculas con aplicaciones biotecnológicas y se ha profundizado en el conocimiento de las diferentes interacciones microbiológicas en diversos ambientes. Es así que, la diversidad microbiana dentro del dominio fue mayor en el dominio Firmicutes aunque ausente en la M4 y M5, el segundo grupo mayoritario fue

el de proteobacteria con un ausente solo en la muestra 1 (agua de pozo) y el tercer grupo formado por actinobacteria.

La base de datos, permite conocer genomas de baja población que serán de gran utilidad en el desarrollo de herramientas para el diagnóstico y biorremediación de las aguas residuales provenientes de este tipo de industria, ya que dentro de esta lista encontraremos bacterias especializadas que se han adaptado a condiciones ambientales extremas.

LITERATURA CITADA

Bayle, S., Martinez-arribas, B., Jarraud, S., Giannoni, P., Garrelly, L., Roig, B., & Cadi, A. 2020. Heliyon Development of a DGGE method to explore Legionella communities. Journal Heliyon. 6(1): 1-7

Betancurt-Olvera, Marcela, Perez-Lainez, María Dolores, Nieto-Angel, Raúl, Barrientos-Priego, Alejandro F., García-Mateos, María Del Rosario, & Corona-Torres, Tarsicio. 2018. Comparación de seis métodos de extracción de adn en tejocote (Crataegus mexicana Moc. & Sessé). Revista fitotecnia mexicana, 41(1): 75-79

Callahan, B., Wong, J., Heiner, Ch., HO, S., Theriot, C., Gulati, A., McGill, S. y Dougherty, M. 2019. High-throughput amplicon sequencing of the full-length 16S rRNA gene with single-nucleotide resolution. Nucleic Aids Research, 47(18):1–12.

Carballa, M., Regueiro, L., & Lema, J. 2015. Microbial management of anaerobic digestion: exploiting the microbiome-functionality nexus. Current Opinion in Biotechnology. Curr Opin Biotechnol, 33:103–111.

Deirdre, C., Lorenzo, C., Antoine, G., Thomas, G., Adrian, Z., & Stefan, E. 2020. Performance and Application of 16S rRNA Gene Cycle Sequencing for Routine Identification of Bacteria in the the Clinical Microbiology Laboratory. Clin Microbiol Rev. 33(4):1–74.

Dimitrakopoulou, M., Panteleli, E., & Vantarakis, A. 2021. Improved PCR-DGGE analysis by emulsion-PCR for the determination of food geographical origin: A case study on Greek PDO “avgotaracho Mesolonghiou”. Current Research in Food Science, 4:746–751.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020. Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura.

García, K. 2018. Evaluación de la Competitividad de la Industria Atunera en la Economía de la Ciudad de Manta-Ecuador periodo 2012-2016. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/28832/1/TRABAJO FINAL MUENTES HERNANDEZ.pdf

Hendriksen, R. S., Munk, P., Njage, P., Bunnik, B. Van, Mcnally, L., Lukjancenko, O., Röder, T., Nieuwenhuijse, D., Pedersen, S. K., Kjeldgaard, J., Kaas, R. S., Thomas, P., Conradsen, L., Vogt, J. K., Leekitcharoenphon, P., Schans, M. G. M. Van De, Zuidema, T., Maria, A., Husman, D. R., … Aarestrup, F. M. 2019. Global monitoring of antimicrobial resistence based on metagenomics analyses of urban sewage. Nat Commun, 10 (1124): 1-12

López-Anchundia, E., Morales-Paredes, E., & Alvarado-Zambrano, S. 2019. Aspectos Biológicos en la Digestión Anaerobia de las Aguas Residuales de la Industria Pesquera. Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura YAKU, 2(4):20-27.

Mondal, S., Pramanik, K., Kumar, S., & Pal, P. 2021. Unraveling the role of plant growth-promoting rhizobacteria in the alleviation of arsenic phytotoxicity: A review. Microbiological Research, 25:126809.

Palmeiro-Sanchéz, T., & Campos, L. 2021. Bioconversion of Organic Pollutants in Fish-Canning Wastewater into Volatile Fatty Acids and Polyhydroxyalkanoate. Int. J. Environ. Res. Public Health, 18(19):10176

Scholz, M., Ward, D. V, Pasolli, E., Tolio, T., Zolfo, M., Asnicar, F., Truong, D. T., Tett, A., Morrow, A. L., & Segata, N. 2016) Strain-level microbial epidemiology and population genomics from shotgun metagenomics. Nature Methods 13:435–438

Shin, J., Ha, J., Lee, D., Choi, J., Kim, K., Lee, W. K., Kang, H., Shin, M., & Yoo, J. 2020. Comparative Evaluation of Band-Based Genotyping Methods for Mycobacterium intracellulare and Its Application for Epidemiological Analysis. Microorganisms. 8(9): 1315.

Wu, L., Ning, D., Zhang, B., Li, Y., Zhang, P., & Shan, X. 2019. Global diversity and biogeography of bacterial communities in wastewater treatment plants. Nat Microbiol, 4(7):1183-1195

Zhu H, Zhang H, Xu Y, Laššáková S, Korabečná M, Neužil P. PCR past, present and future. Biotechniques. 69(4):317-325.